

ANALISIS EFFISIENSI PEMBANGKIT LISTRIK DI PT. PJB UP PAITON UNIT 1

Nama Mahasiswa : Widy Rahmat Tanjung Rediansyah
NRP : 2410 100 023
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, PhD
Gunawan Nugroho, PhD

Abstrak

Telah dilakukan penelitian pada pembangkit listrik tentang penurunan performansi. Penurunan performansi disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi. Sebelum mendapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya performansi, maka perlu dilakukan analisis. Analisis ini dilakukan untuk melihat trend penurunan performansi dari komponen-komponen yang ada pada pembangkit listrik. Yang berpengaruh besar dalam penelitian ini adalah boiler, turbin, dan HE. Hasil dari rata-rata penurunan performansi boiler yaitu terletak pada nilai overall heat transfer coefficient economizer, superheater, dan reheat. Jika di tinjau dari nilai overall heat transfer coefficient maka penurunan performansi economizer sebesar $-2.663 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Penurunan performansi pada Reheat A sebesar $-0.059 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada Reheat B sebesar $-0.043 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada Superheat A sebesar $-10.116 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada Superheat B sebesar $-12.4268 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada HPH 1 sebesar $-0.98 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada HPH 2 sebesar $-0.6802 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada HPH 3 sebesar $-0.625 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada LPH 1 sebesar $-0.0968 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada LPH 2 sebesar $-0.001 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada LPH 3 sebesar $-0.0702 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Nilai penurunan performansi pada condenser sebesar $-0.255 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C) per jam}$. Untuk turbin penurunan efficiency sebesar -0.00084% per jam

Kata kunci : Turbin, Boiler, HPH, LPH, Condenser, Penurunan Performansi, efficiency.

EFFICIENCY ANALYSIS AT POWER PLANT PT PJB UP PAITON UNIT 1

Name : Widy Rahmat Tanjung Rediansyah
NRP : 2410 100 023
Department : S1 Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Totok Ruki Biyanto, PhD
Gunawan Nugroho ST, MT, PhD

Abstract

Has been conducted research on electric power plant about performance decline. Performance decline. Performance decline is caused by some factors. Before getting the factors that affect performance decline, the analysis should be done. This analysis was carried out to look at the trend of decline in the performance of existing components in the power plant. The component that affect in this research is boiler, turbine, and HE. Value of the average performance decline is located at overall value of heat transfer coefficient economizer, super heater, and reheat. If viewed from overall value of heat transfer coefficient, the performance decline at economizer is $-2.66 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C) per Hour}$. The value of performance decline at Reheat A is $-0.059 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at Reheat B is $-0.043 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at Superheat A is $-10.116 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at Superheat B is $-12.4268 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at HPH 1 is $-0.98 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at HPH 2 is $-0.6802 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at HPH 3 is $-0.625 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at LPH 1 is $-0.0968 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at LPH 2 is $-0.001 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at LPH 3 is $-0.0702 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of performance decline at condenser is $-0.255 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)per hour}$. The value of efficiency decline at turbine is $0.00084\% \text{ per hour}$

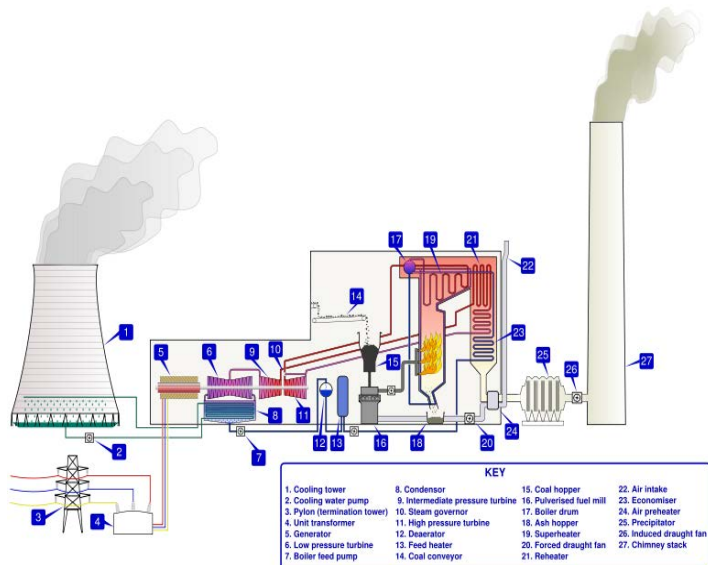
Keywords: *Turbine, Boiler, HPH, LPH, Condenser, Performance decline, Efficiency*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap dimana uap yang dihasilkan adalah hasil konversi energi kimia menjadi energi listrik. Konsep dasar dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah air dimasukkan ke dalam boiler dan dipanaskan sehingga akan menghasilkan uap. Uap ini digunakan untuk memutar turbin yang di-*coupling* dengan generator sehingga akan menghasilkan listrik. Secara umum proses pembangkit listrik di tunjukkan pada gambar di bawah ini.

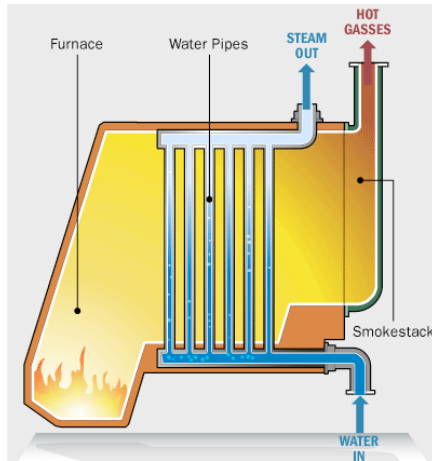


Gambar 2.1. Proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) secara umum [2].

2.2 Boiler

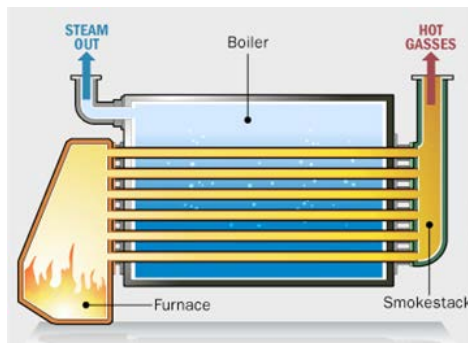
Boiler adalah bejana yang digunakan untuk memanaskan air sampai temperatur tinggi sehingga dihasilkan uap panas dengan *pressure* dan temperatur tinggi. Ada dua macam tipe *boiler* yang

digunakan pada industri, yaitu tipe *watertube* dan *firtube*. [2] Perbedaan dari kedua tipe *boiler* terletak pada objek yang dialirkan pada pipa. Pada *boiler* tipe *watertube* objek yang dialirkan dalam pipa adalah air, sedangkan sumber panas yang digunakan untuk memanaskan air berada pada ruang *boiler* di luar pipa aliran air seperti gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. *Boiler tipe watertube* [2].

Sedangkan pada *boiler* tipe *firtube* objek yang dialirkan dalam pipa adalah sumber panas yang memanaskan air yang tertampung pada *boiler* seperti gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. *Boiler tipe firtube*. [2].

Berdasarkan jurnal Hunaidi dendi tahun 2010 Persamaan sistem kesetimbangan panas – massa pada *boiler* ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Dimana,

\dot{Q} : Laju perubahan panas atau daya (J/s atau W)

U : *Overall heat transfer coefficient* ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

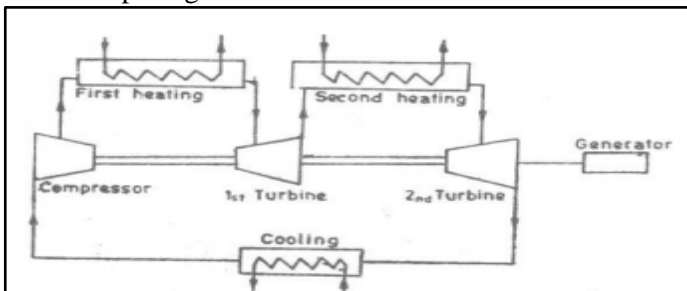
A : Luas area kontak pertukaran panas (m^2)

ΔT : Selisih suhu keluar-masuk ($^\circ\text{C}$)

Pada persamaan (2.1) dapat dijelaskan bahwa untuk mencari nilai *overall heat transfer coefficient* harus mengetahui terlebih dahulu nilai daari laju perubahan panas, luas area, dan selisih suhu. Nilai laju perubahan panas didapatkan dari hasil perkalian antara entalpi dan laju aliran massa.

2.2.1 Reheat

Output turbin gas uap bisa ditingkatkan secara berarti dengan mengekspansikan udara panas dalam dua tingkat dengan reheater diantara dua tingkat. Gambar skematik untuk reheat diperlihatkan pada gambar di bawah ini.

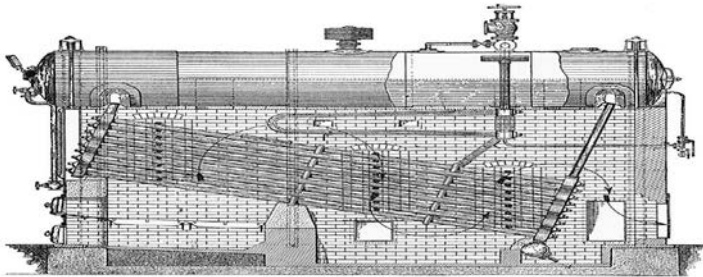


Gambar 2.4. Skema susunan turbin uap siklus tertutup dengan reheating [3].

Uap yang telah memiliki temperatur dan tekanan tertentu akan dimanfaatkan untuk memutar sudut-sudut turbin. Akibatnya uap yang telah terpakai tersebut akan mengalami penurunan tekanan dan temperatur, untuk meningkatkannya kembali digunakan reheater pipe sehingga uap tersebut akan kembali mengalami kenaikan temperatur dan tekanan [3]. Uap akan kembali dimanfaatkan oleh turbin bertekanan medium. pertamanya dikompresi dengan kompresor, dan diteruskan ke ruang pemanas, dan kemudian ke turbin pertama. Kemudian udara sekali lagi dilewatkan ke ruang pemanas yang lainnya dan kemudian dialirkan ke turbin kedua. Terakhir turbin didinginkan di ruang pendingin dan setelah itu diteruskan ke kompresor.

2.2.2 Superheater

Uap yang terkumpul di atas permukaan boiler water selalu berbentuk uap jenuh (saturated uap). Untuk mengubah saturated uap menjadi superheated uap dibutuhkan superheater yang berupa penukar panas (heat exchanger) dimana panas ditambahkan ke saturated uap. Superheater terdiri dari stage tinggi dan rendah, yang ditempatkan pada flue gas yang condong ke belakang *cyclone* separator. Uap saturated dari uap drum dimasukkan ke *inlet header* superheater dengan sambungan, kemudian ke superheater suhu yang lebih rendah, selanjutnya ke desuperheater setelah dipanaskan, dan akhirnya masuk ke *outlet header* superheater suhu tinggi dengan pipa, setelah suhunya disesuaikan [3]. Uap superheated ini kemudian disalurkan ke main uap header untuk digunakan untuk menggerakkan turbine. Di PT.PJB UP paiton ini terdapat 4 tube superheater di keseluruhan plant. Di masing-masing unit terdapat 2 tube superheater. Superheater ini berfungsi untuk memanaskan uap dari keluaran uap *drum* . di superheater ini hanya dapat masuk uap jenuh saja. Jika ada sedikit fluida yang masuk, maka akan cepat terjadi *fouling*. Untuk superheater ini sendiri dapat ditunjukkan dengan gambar dibawah ini.



Gambar 2.5. Superheater [3].

2.2.3 Economizer

Untuk boiler dengan *pressure* yang tinggi, diperlukan pemanasan awal dengan memanfaatkan panas gas buang *flue gas* dari boiler atau disebut economizer. Economizer adalah jenis penukar kalor antara gas dan cairan, dimana dengan sistem ini kalor dari gas asap Boiler dimanfaatkan sebagai pemanas air untuk proses produksi atau pun sebagai umpan air ke Boiler.[4] Economizer ini berfungsi untuk memanaskan air yang sudah ada sedikit *uap* dari keluaran *High Pressure Heater*. Keluaran dari economizer ini berupa fase *uap* dan masih ada sedikit fase air. Setelah di proses, keluaran dari economizer akan masuk ke *uap drum* untuk di tamping dan setelah itu akan di proses selanjutnya menuju superheater dan yang fase cair turun ke *blowdown* untuk di panaskan lagi ke boiler.



Gambar 2.6. Economizer [4].

2.3 *Low Pressure Heater*

Setelah melewati *Condensate extraction pump*, maka diteruskan ke *Low Pressure Heater* yang mana memiliki fungsi untuk menaikkan temperatur secara bertahap atau sebagai pemanas lanjut yang mendapat panas dari uap ekstraksi turbin. Pemanas air pengisi tekanan rendah pada Unit 1 di PLTU Paiton menggunakan pemanas jenis permukaan (*tube*), dimana terdapat *water box* yang terbagi menjadi dua bagian yaitu pada sisi masuk dan sisi keluar [5]. Air mengalir dari sisi masuk *water box* melalui pipa-pipa berbentuk U ke sisi luar *water box* dan selanjutnya ke pemanas berikutnya. Tipe pemanas ini adalah shell and tube heat exchanger. Di PLTU paiton ini terdiri dari 3 *Low Pressure Heater* untuk memanaskan air. *Low pressure Heater* ini berfungsi untuk memanaskan air keluaran dari condenser. Karena keluaran dari condenser suhunya kecil, maka untuk melanjutkan proses lagi perlu pemanasan awal. Keluaran *Low Pressure Heater* ini akan di teruskan ke *deaerator*. Gambar dibawah ini adalah gambar *Low Pressure Heater* berupa kumpulan dari tube yang panjang dan diameter agak besar



Gambar 2.7. Low Pressure Heater [5].

2.4 *High Pressure Heater*

High Pressure Heater berfungsi untuk menaikkan temperatur secara bertahap atau sebagai pemanas lanjut yang menggunakan uap ekstraksi dari turbin sebagai sumber pemanasan. Pada PLTU

Paiton unit 1 pemanas air pengisi tekanan tinggi yang digunakan jenis permukaan atau *tube*, dimana terdapat *water box* yang terbagi dua bagian yaitu sisi masuk dan sisi keluar. Air mengalir dari sisi masuk *water box* melalui pipa-pipa berbentuk *U* ke sisi luar *water box* dan selanjutnya ke pemanas berikutnya, tipe pemanas ini adalah *shell and tube heat exchanger* [6]. *High Pressure Heater* ini berfungsi untuk menaikkan suhu keluaran dari deaerator. Keluaran deaerator sudah benar-benar komposisi air murni (H_2O) dan tidak ada campuran kandungan-kandungan lain. Keluaran dari *High Pressure Heater* ini berupa suhu yang panas dan akan dilanjutkan ke economizer.



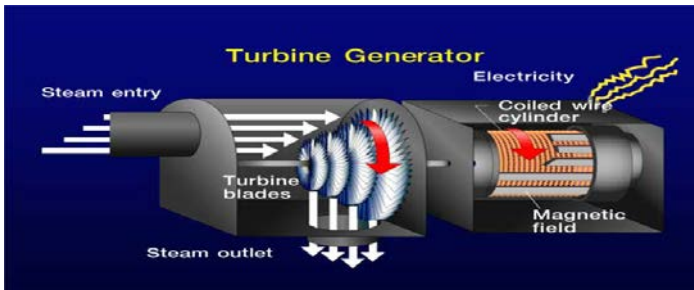
Gambar 2.8. High Pressure Heater [6].

Gambar 2.8 adalah gambar *High Pressure Heater* berupa tube yang panjang dan berdiameter agak besar.

2.5 Turbin Uap

Turbine Uap adalah mesin penggerak yang merubah secara langsung energy yang terkandung dalam uap menjadi gerak putar pada poros. Yang mana uap (*uap* yang diproduksi dari ketel uap / boiler) setelah melalui proses yang dikehendaki maka uap yang dihasilkan dari proses tersebut dapat digunakan untuk memutar turbin melalui alat memancar (nozzle) dengan kecepatan relatif, dimana kecepatan relatif tersebut membentur sudu penggerak sehingga dapat menghasilkan putaran. Uap yang memancar keluar dari nozzle diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk

lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin [7]. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros. Turbin uap merupakan komponen pengubah energi potensial dari uap yang melewati sudu-sudu turbin uap menjadi energi kinetik berupa gerak putar akibat dari gaya *lift* dari sudu-sudunya. Dalam proses pembangkitan energi listrik turbin uap berperan dalam menghasilkan energi kinetik yang digunakan untuk memutar generator, sehingga dihasilkan listrik seperti yang diilustrasikan oleh gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9. Turbin uap untuk menghasilkan listrik [7].

Fungsi kerja dari turbin uap secara umum suatu peralatan yang digunakan untuk memutar Generator, dimana media yang digunakan untuk memutar turbin adalah uap panas lanjut (uap kering) yang terlebih dulu diproses didalam boiler.

Berdasarkan jurnal Hunaidi dendi tahun 2010, Persamaan efisiensi turbin uap direpresentasikan dalam persamaan (2.2) berikut.

$$\eta = \frac{\text{kerja turbin}}{\text{jumlah kalor masuk}} \times 100\% = \frac{h_{in} - h_{out}}{h_{in}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana

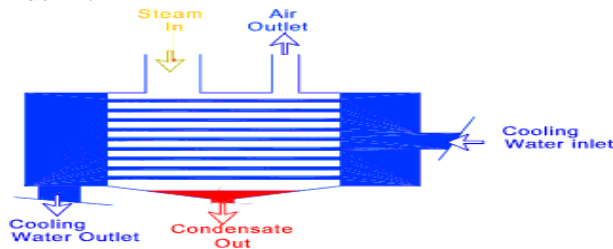
η : efisiensi turbin (%)

h_{in} : entalpi uap yang masuk turbin (kJ/kg)

h_{out} : entalpi uap yang keluar turbin (kJ/kg)

2.6 Condenser

Condensor adalah salah satu jenis mesin penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja. Pada sistem tenaga uap, fungsi utama kondensor adalah untuk mengembalikan *exhaust uap* dari turbin ke fase cairnya agar dapat dipompakan kembali ke boiler dan digunakan kembali. Selain itu, *condensor* juga berfungsi untuk mendapatkan tekanan balik yang rendah (*vacuum*) pada *exhaust* turbin [8]. Dengan tekanan balik yang rendah, maka efisiensi siklus dan kerja turbin akan meningkat. *Condenser* merupakan pengubah fase uap menjadi cair dengan menurunkan temperatur uap. Proses penurunan suhu uap terjadi pada *heat exchanger condenser* yang dialiri dengan fluida, dengan suhu rendah seperti pada Gambar 2.6 berikut ini.



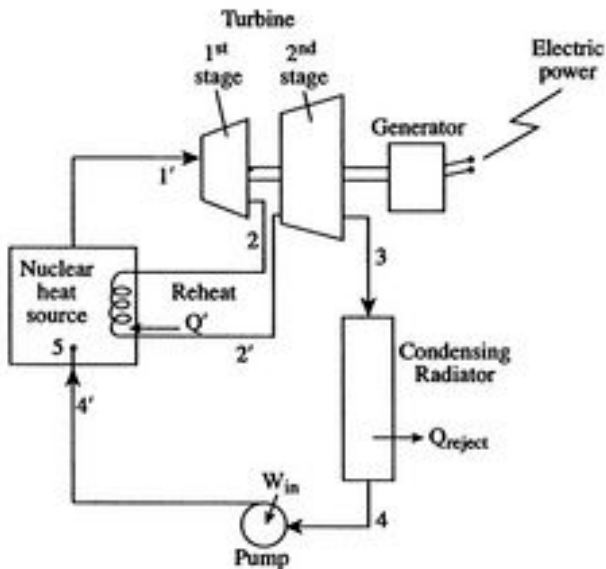
Gambar 2.10. Proses pendinginan pada *condenser* [8].

Persamaan kesetimbangan panas – massa pada *condenser* menggunakan persamaan kesetimbangan panas – massa pada *heat exchanger* pada Persamaan (2.1) karena proses penukaran panas yang terjadi pada komponen yang sama.

2.7 Siklus *Reheat* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Siklus *reheat* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan modifikasi dari siklus Rankine pembangkit listrik

pada umumnya. Modifikasi terletak pada pemanasan ulang uap yang keluar dari turbin utama atau turbin dengan uap bertekanan tinggi (*high pressure*) ke dalam *boiler* melalui *heat exchanger*. [9] Uap hasil pemanasan ulang tersebut digunakan untuk memutar turbin sekunder dengan tekanan uap yang lebih rendah dibandingkan dengan uap yang masuk turbin utama yang dapat meningkatkan efisiensi PLTU secara keseluruhan. Energi kinetik dari turbin utama dan sekunder digunakan untuk memutar generator yang diilustrasikan oleh Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.11. Proses pembangkitan listrik siklus Rankine *reheat* [9].

Jumlah turbin uap sekunder bisa lebih dari satu, tergantung pada pertimbangan biaya pemasangan turbin sekunder tambahan dan efisiensi yang akan didapatkan jika penambahan turbin sekunder dilakukan agar didapatkan hasil yang optimal dari segi biaya dan energi listrik yang dihasilkan.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini dijelaskan tentang tahap-tahap penelitian tentang performansi pembangkit listrik yang dijadikan bahan kajian penelitian ini. Tahap-tahap penelitian yang dimaksud secara umum digambarkan pada diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1. Diagram alir analisa performansi pembangkit listrik.

3.1 Pengambilan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data proses berupa parameter tekanan, laju aliran massa, dan suhu pada tiap-tiap masukan dan keluaran *boiler, low pressure heater, high pressure heater, condenser*, serta turbin. Data-data tersebut didapatkan langsung dari PT PJB UP PAITON yang tercantum pada lampiran. Selain itu data desain *boiler, low pressure heater, high pressure heater, condenser* untuk perhitungan *overall heat transfer coefficient* juga didapatkan secara langsung dari PT PJB UP PAITON yang tercantum pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1. Data desain komponen *power plant* yang dianalisis

<i>Component</i>	<i>U design</i>	<i>A design</i>
condenser	2500	25200
economizer	350000	9353
HPH 1	85000	165
HPH 2	30000	205
HPH 3	60000	245
LPH 1	4000	786
LPH 2	6000	658
LPH3	7000	550
Reheat A	9000	689
Reheat B	8000	689
Superheater A	150000	689
Superheater B	110000	689

3.2 Data Processing

Data yang telah didapatkan, diklasifikasikan terlebih dahulu sesuai dengan komponennya. Data *pressure* dan temperatur yang telah diklasifikasikan tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai entalpi dengan menggunakan grafik tekanan – entalpi (grafik p-h). Entalpi yang didapatkan dikalikan dengan data *mass flow rate* untuk didapatkan daya keluaran tiap-tiap komponen. Daya yang didapatkan digunakan untuk mengetahui performansi *overall heat transfer coefficient* tiap komponen yang direpresentasikan oleh

efisiensi komponen sesuai dengan persamaan-persamaan efisiensi pada masing-masing komponen yang dianalisis.

Nilai *overall heat transfer coefficient* masing-masing komponen yang didapatkan dari hasil pengolahan data melalui persamaan perhitungan *overall heat transfer coefficient* yang di dapatkan, kemudian di grafikkan terhadap waktu sehingga didapatkan *trend* penurunan *overall heat transfer coefficient* dari desain awal terhadap waktu. Dari *trend* grafik *overall heat transfer coefficient* didapatkan persamaan penurunan performansi pada tiap-tiap komponen terhadap waktu, sehingga didapatkan juga performansi pada pembangkit listrik tersebut secara keseluruhan terhadap waktu.

3.3 Analisis performansi pembangkit listrik

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisa data performansi *overall heat transfer coefficient* komponen terukur yang dibandingkan dengan performansi *overall heat transfer coefficient* desain terhadap waktu. *Trend* penurunan performansi *overall heat transfer coefficient* tiap komponen terhadap waktu. *Trend* yang dilihat yaitu *overall heat transfer coefficient*. Setelah di ketahui *trend* penurunan terhadap waktu maka dapat di ketahui alasannya. Setelah keluar grafik penurunan maka dapat di analisis dan diketahui apa penyebab dari penurunan tersebut. Jika di boiler, *low pressure heater*, *high pressure heater*, dan condenser *trend* yang di lihat adalah dari nilai *overall heat transfer coefficient* design terhadap *overall heat transfer coefficient* aktual. Untuk turbine hanya di lihat nilai *efficiency* yang didapat di karenakan tidak mengutamakan luasan. *Trend* didapat dari hasil komponen tersebut dibandingkan dengan data desain awal per satuan waktu. Tidak hanya menganalisa saja, untuk merekomendasi perusahaan dan juga dapat mengetahui harus berapa lama sekali dilakukan pembersihan, jika penurunannya sangat drastis maka harus dilakukan pembersihan lebih sering. Karena jika di biarkan akan berpengaruh pada produksi yang di hasilkan. Jika performansi dari komponen

tersebut akan semakin menurun maka akan cepat rusak dan merugikan perusahaan.

3.4 Pembuatan dan Penyusunan Laporan

Setelah mendapatkan analisis dari grafik perkomponen maka untuk selanjutnya adalah pembuatan dan penyusunan laporan.

BAB IV

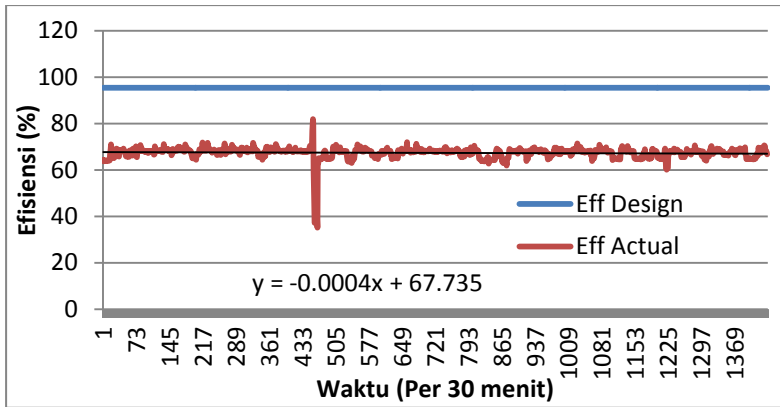
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab 4 ini akan dibahas mengenai analisa dari performansi boiler, *condenser*, LPH, HPH, dan turbin. Pada boiler yang akan ditentukan adalah perbandingan antara nilai *overall heat transfer coefficient* desain dengan *overall heat transfer coefficient* Aktual. Begitu juga di *condenser*, LPH, dan HPH mencari perbandingan antara nilai *heat overall coefficient* desain dan *heat overall coefficient* Aktual. Pada turbin yang ditentukan adalah perbandingan antara nilai efisiensi aktual dengan nilai efisiensi desain.

4.1 Turbin

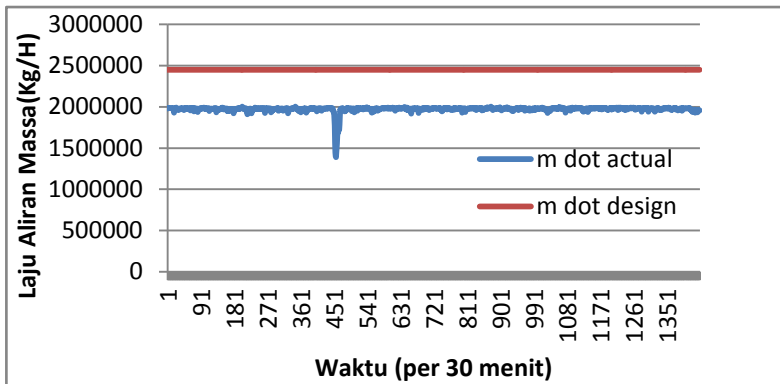
Pada pembangkit listrik PT PJB UP PAITON ini menggunakan tiga turbin, yaitu HP(*High Pressure*) turbin, IP(*Intermediate Pressure*), dan LP(*Low Pressure*) turbin. Masukan dari tiga turbin tersebut berbeda-beda. Masukan tekanan pada HP turbin tinggi, di IP turbin tekanan masukan sedang dan pada LP turbin tekanan masukan rendah. Nilai efisiensi didapatkan dari jumlah keluaran daya dibagi dengan Q_{in} turbin. Daya didapatkan dari data yang sudah ada pada PT.PJB UP PAITON. Nilai Q_{in} turbin didapatkan dari perhitungan entalpi dikalikan dengan laju aliran massa. Entalpi didapatkan dari tabel termodinamika pada tekanan dengan suhu. Perbandingan antara Efisiensi aktual dan efisiensi tertentu pada turbin ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

Pada gambar 4.1, dimana *trend line* efisiensi menurun dengan laju penurunan -0.0008% per jam. Nilai penurunan efisiensi didapatkan dari pembagian antara efisiensi desain turbin dengan nilai konstanta dikalikan dengan dua, agar menjadi per 1 jam. Nilai konstanta didapatkan dari persamaan $y = -0.0004x + 67.735$. Semakin besar laju penurunan efisiensi maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Hal ini biasanya disebabkan oleh efisiensi per jam yang terjadi pada blade turbin.



Gambar 4.1.Penurunan harga efisiensi seiring waktu pada turbin.

Pada Gambar 4.1, dimana *trend line* efisiensi menurun dengan laju penurunan -0.0008% per jam. Nilai penurunan efisiensi didapatkan dari pembagian antara efisiensi desain turbin dengan nilai konstanta dikalikan dengan dua, agar menjadi per 1 jam. Nilai konstanta di dapatkan dari persamaan $y = -0.0004x + 67.735$. Nilai y mengimplementasikan penurunan efisiensi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Penurunan efisiensi terjadi dikarenakan turbin dioperasikan dengan laju aliran massa aktual lebih rendah 19% dari kondisi laju aliran massa desain, Semakin besar laju penurunan efisiensi maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Hasil penurunan laju aliran massa ini dapat dilihat pada Gambar 4.2. Hal ini biasanya disebabkan oleh efisiensi per jam yang terjadi pada blade turbin.



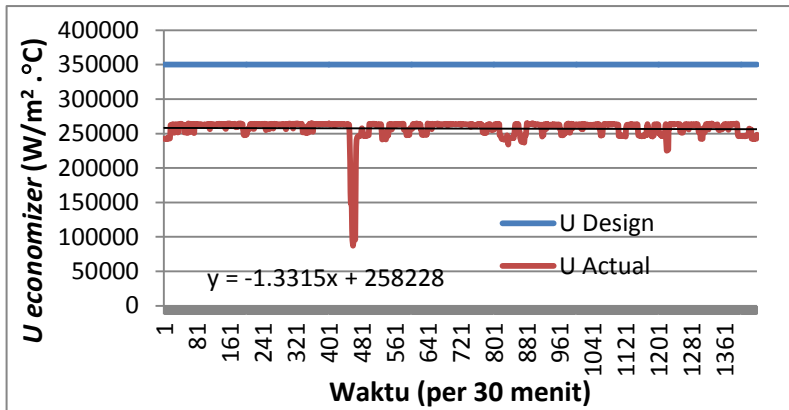
Gambar 4.2. Penurunan harga laju aliran massa terhadap waktu pada turbin.

4.2 Boiler

Performansi boiler pada pembangkit listrik PT PJB UP PAITON ditinjau dari penurunan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U Aktual) dengan *overall heat transfer* dari desain (U Desain). Di dalam boiler terdapat 3 komponen yang mempengaruhi performansi, yaitu *economizer*, *superheater*, dan *reheat*. Uap keluaran yang mempengaruhi penurunan performansi pada boiler ada tiga, yaitu uap keluaran *economizer*, *superheater*, dan *reheat*.

4.2.1 Economizer

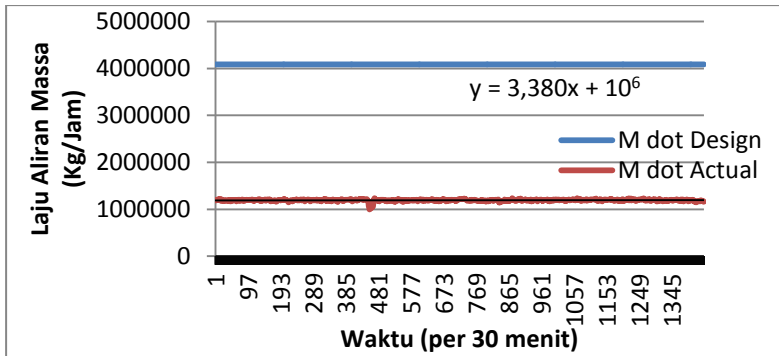
Performansi pada *economiser* menurun terhadap bertambahnya waktu. Untuk melihat trend U sebaiknya data dalam rentang waktu yang panjang diperlukan, sehingga trend penurunan nilai U lebih mudah diamati. Dengan bantuan *trend line*, penurunan harga U yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata, bisa dimodelkan menggunakan persamaan pada *trend line*. Agar lebih jelas penurunan terhadap bertambahnya waktu maka harga U Aktual dibandingkan dengan harga U desain. Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada *economizer* ditunjukkan oleh gambar berikut.



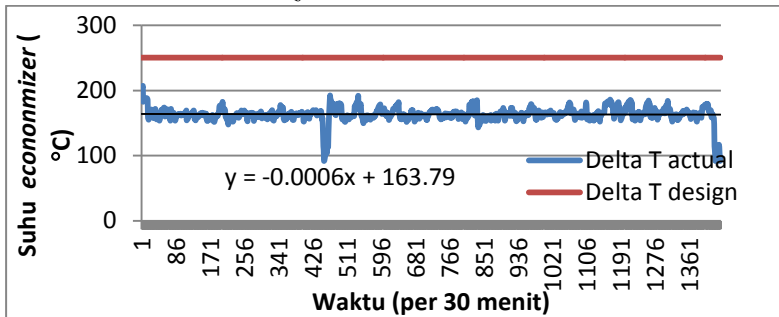
Gambar4.3. Penurunan harga U terhadap waktu pada *economizer*

Pada Gambar 4.3, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan $-2.663 (W/m^2 \cdot ^\circ C)$ per jam dengan persamaan $y = -1.3315x + 258228$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.3, bahwa pada data ke-428 terjadi penurunan drastis. Hal ini disebabkan oleh masukan laju aliran massa dari *economizer* menurun dengan perubahan suhu yang semakin menurun, yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dapat dilihat di Gambar 4.5 bahwa nilai ΔT menurun pada data ke- 428. Maka kalor yang tersedia pada komponen *economizer* akan menurun.

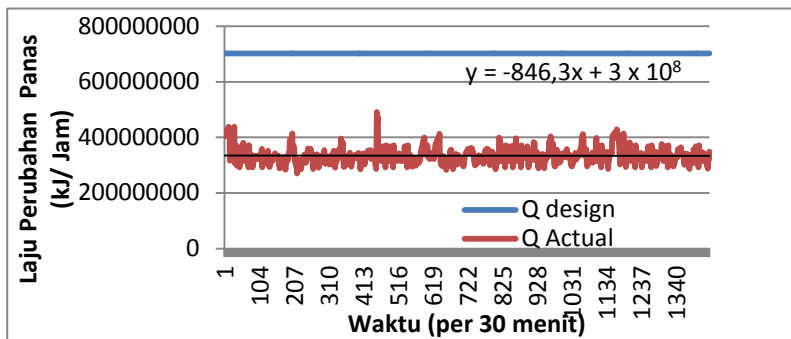
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.4. Penurunan harga m dot terhadap waktu pada *economizer*



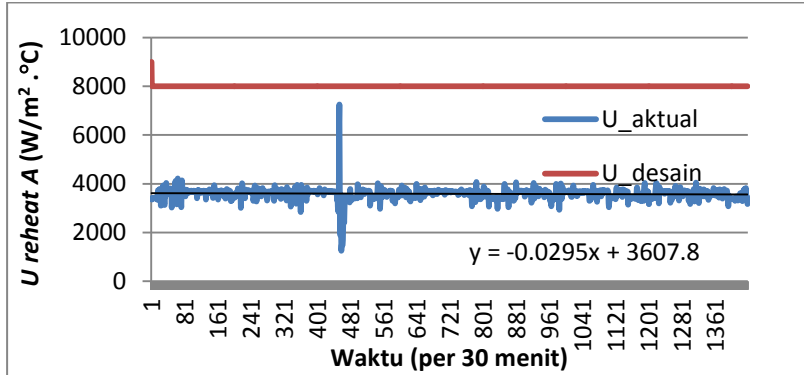
Gambar 4.5. Penurunan harga ΔT terhadap waktu pada *economizer*



Gambar 4.6. Penurunan harga Q terhadap waktu pada *economizer*

4.2.2 Reheat

Di PT.PJB UP Paiton terpasang 4 *tube reheat* secara keseluruhan *plant*. Masing-masing unit *plant* terpasang 2 *tube reheat*. Reheat ini berfungsi untuk menaikkan suhu keluaran HP turbin yang akan dilanjutkan lagi ke IP turbin. Untuk mencari performansi dikedua reheat itu sama. Performansi pada reheat menurun terhadap bertambahnya waktu. Untuk melihat trend U sebaiknya data dalam rentang waktu yang panjang diperlukan, sehingga *trend* penurunan nilai U lebih mudah diamati. Dengan bantuan *trend line*, penurunan harga U yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata, bisa dimodelkan menggunakan persamaan pada *trend line*. Agar lebih jelas penurunan terhadap bertambahnya waktu maka harga U_{Aktual} dibandingkan dengan harga U_{desain} . Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada reheat A ditunjukkan oleh Gambar berikut.

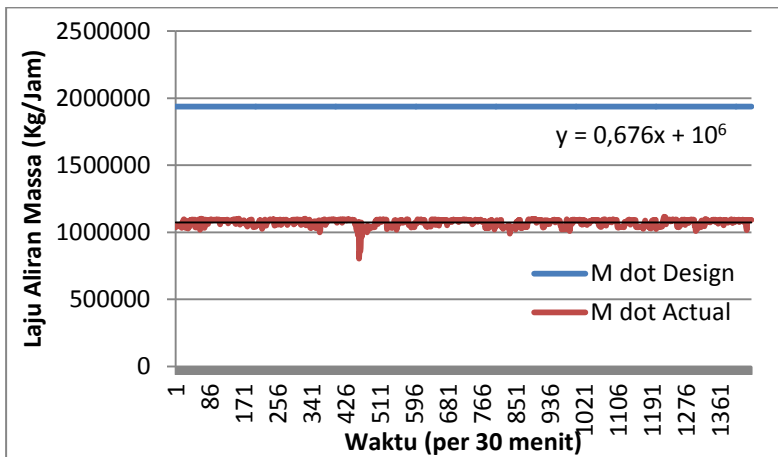


Gambar 4.7. Penurunan harga U terhadap waktu pada reheat A

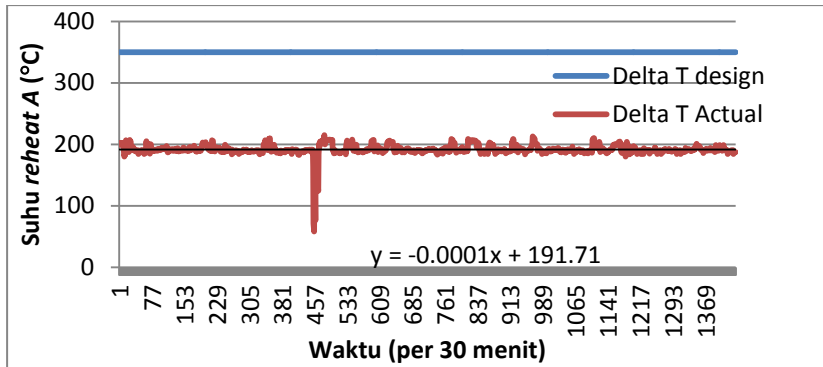
Pada Gambar 4.7, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan -0.059 ($\text{W/m}^2.\text{°C}$) per jam dengan Persamaan. $y = -0.0295x + 3607.8$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan

semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.7, bahwa pada data ke-457 terjadi penurunan drastis. Hal ini disebabkan oleh masukan laju aliran massa dari *reheat* A menurun dengan perubahan suhu yang semakin menurun. Untuk laju aliran massa dapat dilihat Gambar 4.8 laju penurunannya. Dapat dilihat di Gambar 4.4 bahwa nilai ΔT menurun pada data ke- 457. Maka kalor yang tersedia pada komponen *reheat* A akan menurun, dapat dilihat pada Gambar 4.10.

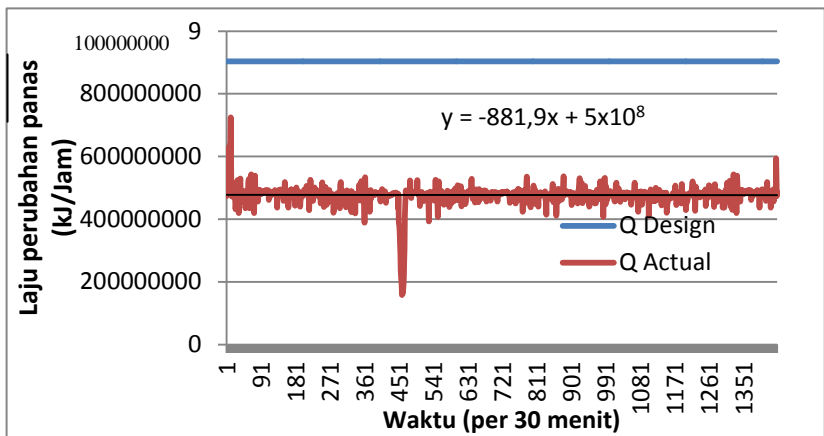
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.8. Penurunan harga m dot terhadap waktu pada *reheat* A

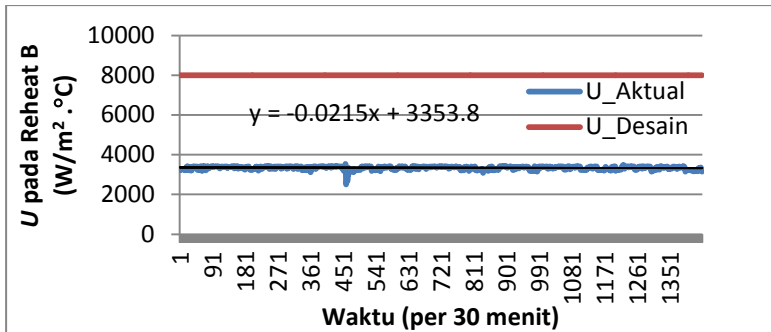


Gambar 4.9. Penurunan harga ΔT terhadap waktu pada reheat A



Gambar 4.10. Penurunan harga Q terhadap waktu pada reheat A

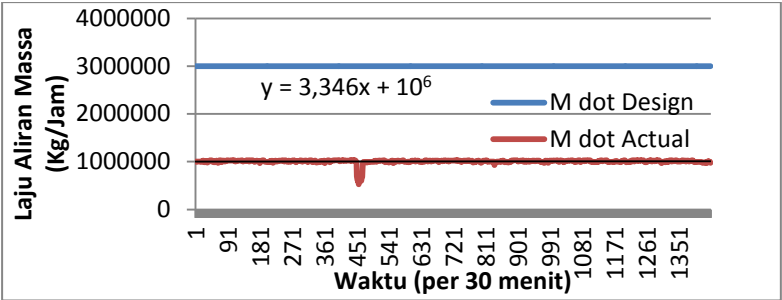
Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada reheat B ditunjukkan oleh gambar berikut.



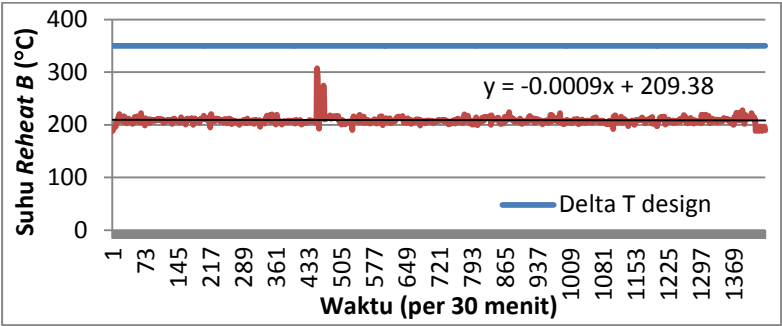
Gambar 4.11. Penurunan harga U terhadap waktu pada *reheat B*

Pada Gambar 4.11, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan $-0.043 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$ per jam dengan persamaan $y = -0.0215x + 3353.8$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.11, bahwa pada data ke-427 terjadi penurunan drastis. Hal ini disebabkan oleh masukan *laju aliran massa* dari *reheat B* menurun, dapat dilihat pada Gambar 4.12. Tetapi nilai dari perubahan suhu naik, dapat dilihat pada Gambar 4.13. Maka masih ada kalor yang tersedia pada komponen *reheat B* untuk dapat mengetahui masih ada ketersediaan kalor di komponen *reheat B* dapat dilihat pada gambar 4.14

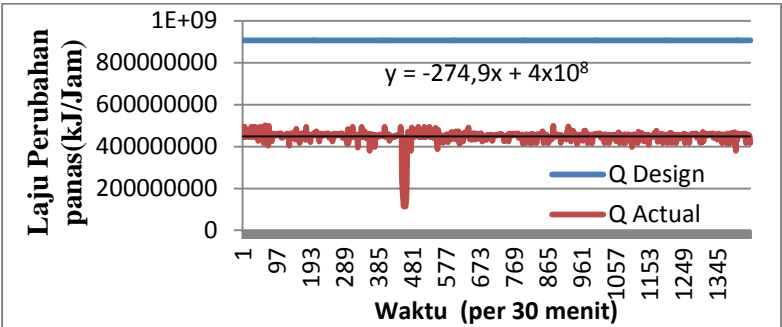
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.12. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk reheat B



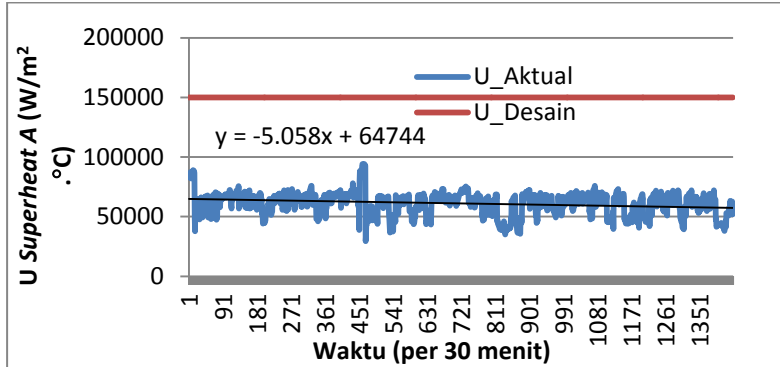
Gambar 4.13. Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk reheat B



Gambar 4.14. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk reheat B

4.2.3 Superheater

Di PT.PJB UP Paiton terpasang 4 *tube superheat* secara keseluruhan *plant*. Masing-masing unit *plant* terpasang 2 *tube superheat*. *Superheater* ini berfungsi untuk menaikkan suhu dari keluaran *steam drum* yang akan menuju ke HP turbin. Untuk mencari performansi masing-masing *superheat* itu sama. Performansi pada *superheat* menurun terhadap bertambahnya waktu. Untuk melihat *trend U* sebaiknya data dalam rentang waktu yang panjang diperlukan, sehingga *trend* penurunan nilai *U* lebih mudah diamati. Dengan bantuan *trend line*, penurunan harga *U* yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata, bisa dimodelkan menggunakan persamaan pada *trend line*. Agar lebih jelas penurunan terhadap bertambahnya waktu maka harga U_{Aktual} dibandingkan dengan harga U_{Desain} . Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari Aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada *superheat A* ditunjukkan oleh gambar berikut.

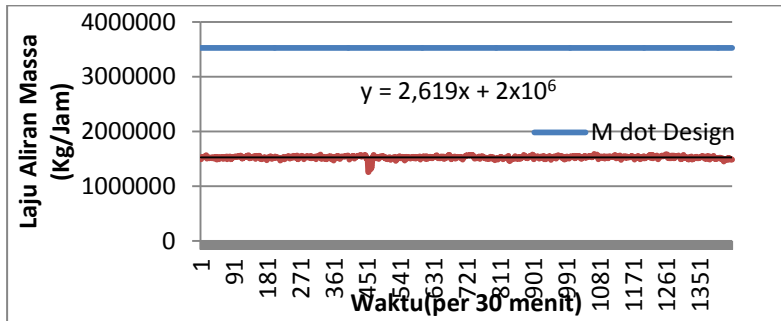


Gambar 4.15. Penurunan harga U terhadap waktu untuk *superheat A*

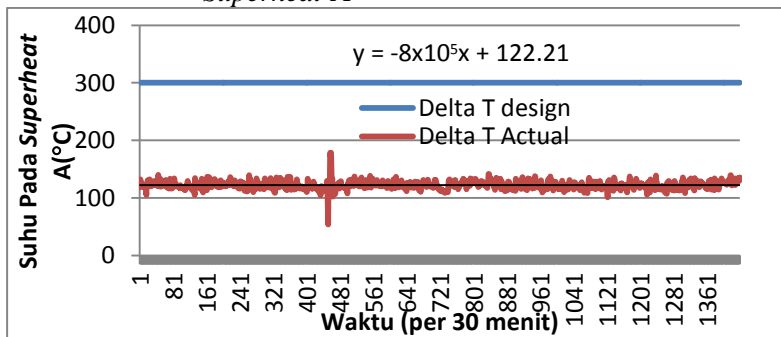
Pada Gambar 4.15, dimana *trend line U* menurun dengan laju penurunan $-10.116 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C) per jam}$ dengan persamaan $y = -5.058x + 64744$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan

semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.15, bahwa pada data ke-426 terjadi penurunan drastis. Hal ini disebabkan oleh masukan laju aliran massa dari *superheat* A menurun dengan perubahan suhu yang semakin menurun. Nilai penurunan dari laju aliran massa dapat dilihat pada Gambar 4.16. Dapat dilihat di Gambar 4.17 bahwa nilai ΔT menurun pada data ke- 426. Maka kalor yang tersedia pada komponen *superheat* A akan menurun, dapat dilihat pada Gambar 4.18.

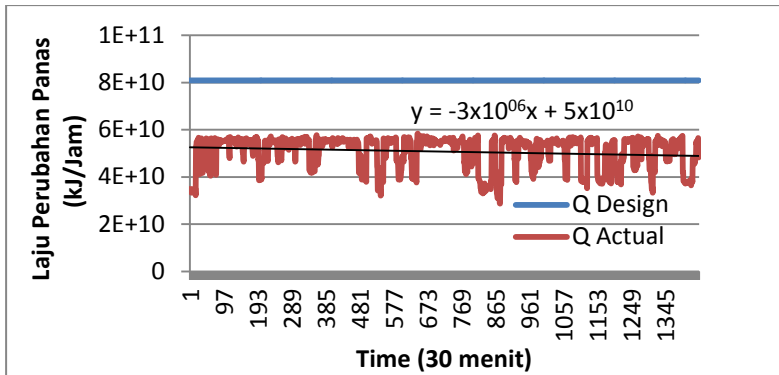
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.16. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk *Superheat* A

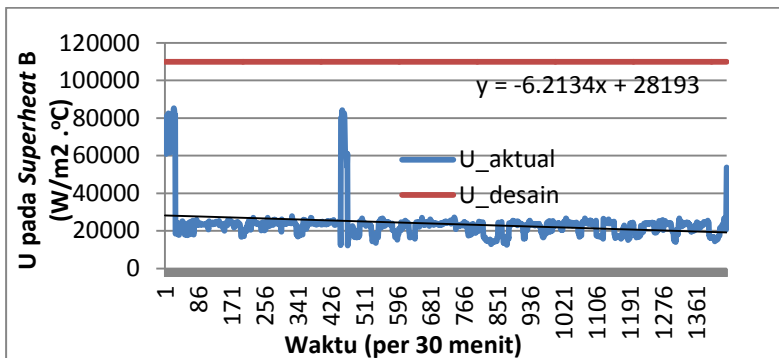


Gambar 4.17. Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk *Superheat* A



Gambar 4.18. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk *superheat A*

Perbandingan overall heat transfer coefficient dari aktual (U_{Aktual}) dengan overall heat transfer coefficient dari desain (U_{Desain}) pada *reheat B* ditunjukkan oleh gambar berikut.

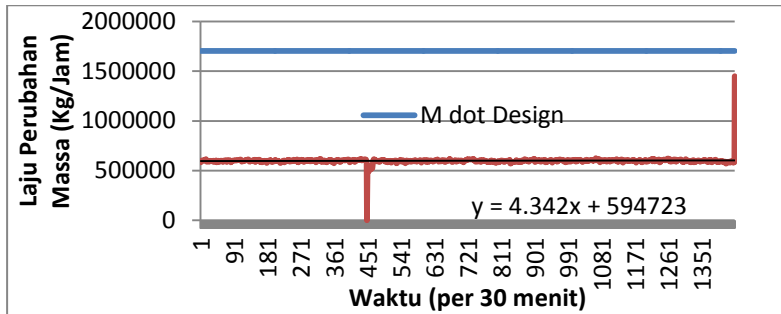


Gambar 4.19. Penurunan harga U terhadap waktu untuk *superheat B*

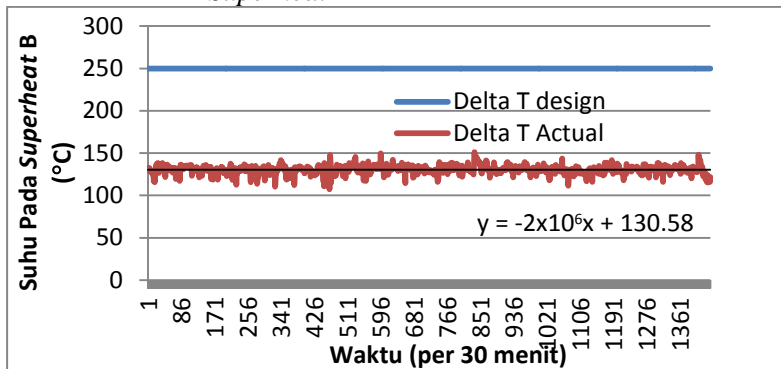
Pada Gambar 4.19, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan -12.4268 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) per jam dengan persamaan $y = -6.2134x + 28193$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan semakin cepat menurun dapat dilihat pada Gambar 4.19, bahwa

pada data ke-449 terjadi kesalahan data (*missing*) karena didata laju aliran massa ada data 0, yang ditunjukkan pada Gambar 4.20. Maka kalor yang dihasilkan juga bernilai 0, yang ditunjukkan pada Gambar 4.22. jika nilai penurunan laju aliran massa ada yang bernilai 0, maka nilai untuk suhu tidak berpengaruh, yang ditunjukkan pada Gambar 4.21.

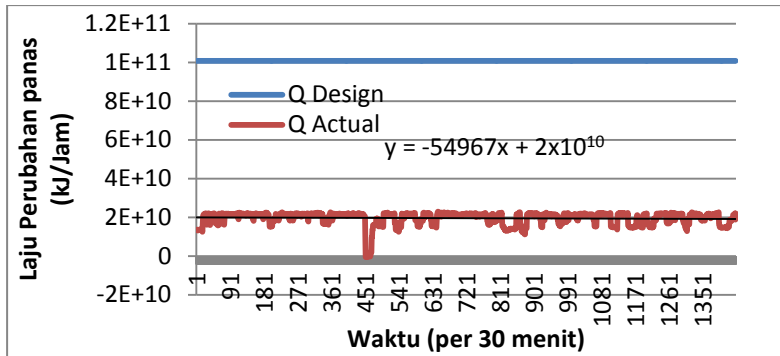
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.20. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk Superheat B



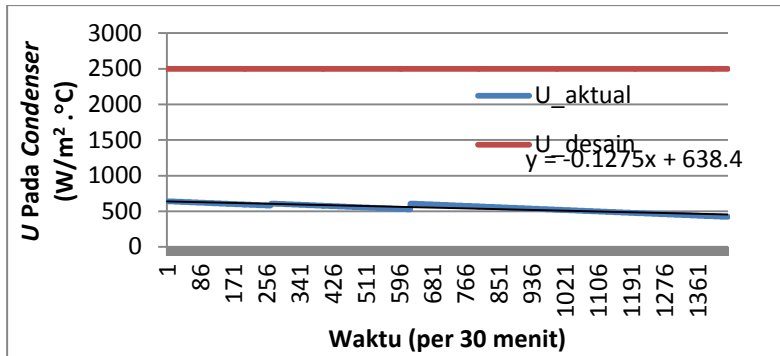
Gambar 4.21. Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk superheat B



Gambar 4.22. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk *superheat B*

4.3 Condenser

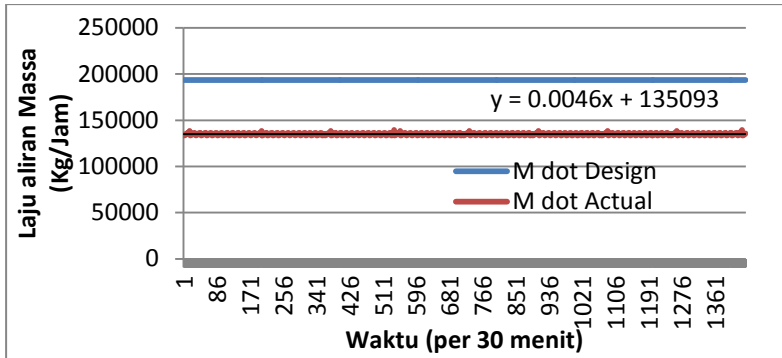
Condenser adalah *tube* penukar panas yang berfungsi untuk menurunkan suhu yang tinggi menjadi *suhu* rendah. Cara *condenser* menukarkan panas tersebut dengan bantuan air laut. *Tube* di dalam *condenser* sangat panjang, dikarenakan untuk menurunkan suhu dari LP turbin lama. Tetapi bentuk *tube* yang ada di dalam *condenser* tidak lurus memanjang melainkan berkelok. Performansi pada *condenser* menurun terhadap bertambahnya waktu. Untuk melihat *trend U* sebaiknya data dalam rentang waktu yang panjang diperlukan, sehingga *trend* penurunan nilai U lebih mudah diamati. Dengan bantuan *trend line*, penurunan harga U yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata, bisa dimodelkan menggunakan persamaan pada *trend line*. Agar lebih jelas penurunan terhadap bertambahnya waktu maka harga U_{Aktual} dibandingkan dengan harga U_{Desain} . Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada *condenser* ditunjukkan oleh gambar berikut.



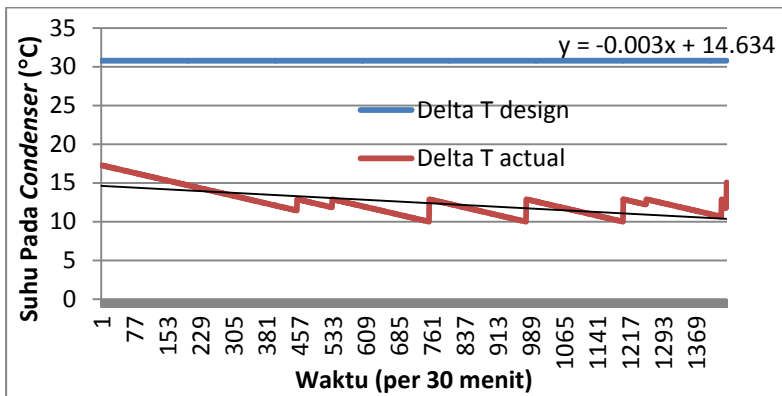
Gambar 4.23. Penurunan harga U terhadap waktu untuk *condenser*

Pada Gambar 4.23, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan $-0.255 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$ per jam dengan persamaan $y = -0.1275x + 638.4$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.23, bahwa pada data ke-569 terjadi penurunan. Hal ini disebabkan oleh memasukkan laju aliran massa ditunjukkan pada Gambar 4.24. dari *condenser* menurun dengan perubahan suhu yang semakin menurun. Untuk laju aliran massa ditunjukkan pada Gambar 4.24. Dapat dilihat di Gambar 4.25 bahwa nilai ΔT menurun pada data ke- 569. Maka kalor yang tersedia pada komponen *condenser* akan menurun. Untuk nilai kaalor sendiri dapat dilihat pada Gambar 4.26.

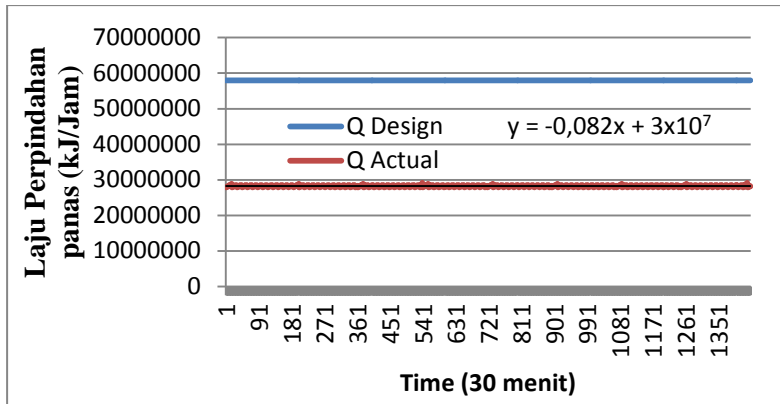
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.24. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk *condenser*



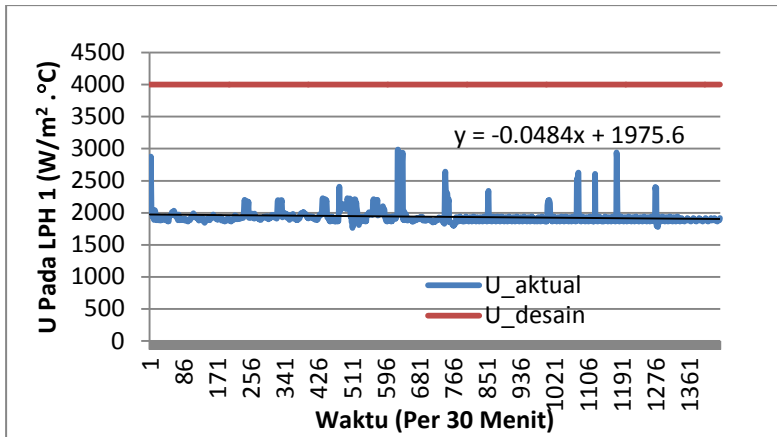
Gambar 4.25. Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk *condenser*



Gambar 4.26. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk *condenser*

4.4 Low Pressure Heater

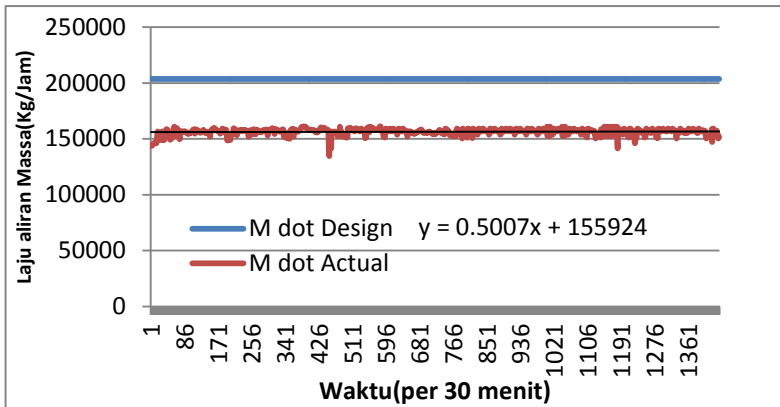
Di PT.PJB UP Paiton memiliki 6 *low pressure heater* secara keseluruhan *plant*. Masing-masing unit *plant* terpasang 3 *low pressure heater*. *Low pressure heater* ini berfungsi untuk menaikkan suhu keluaran dari *condenser*. Untuk mencari performansi di kedua *reheat* itu sama. Performansi pada *reheat* menurun terhadap bertambahnya waktu. Untuk melihat *trend* U sebaiknya data dalam rentang waktu yang panjang diperlukan, sehingga *trend* penurunan nilai U lebih mudah diamati. Dengan bantuan *trend line*, penurunan harga U yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata, bisa dimodelkan menggunakan persamaan pada *trend line*. Agar lebih jelas penurunan terhadap bertambahnya waktu maka. Harga U_{Aktual} dibandingkan dengan harga U_{desain} . Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada LPH 1 ditunjukkan oleh gambar berikut.



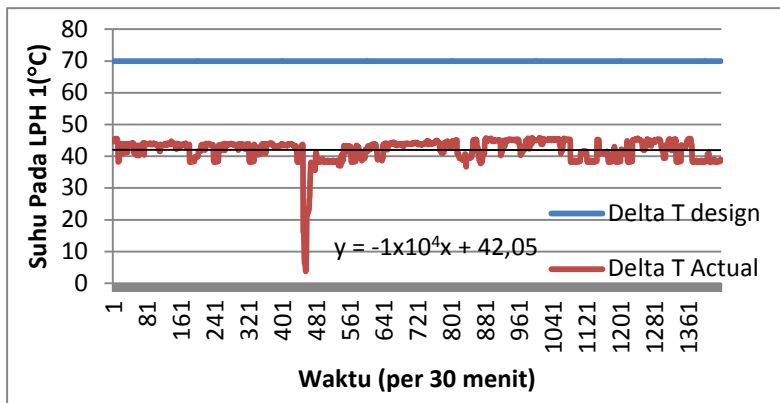
Gambar 4.27. Penurunan harga U terhadap waktu untuk LPH 1

Pada Gambar 4.20, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan $-0.0968(\text{W/m}^2.\text{°C})$ per jam dengan persamaan. $y = -0.0484x + 1975.6$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.27, bahwa pada data ke-596 terjadi penurunan. Nilai perubahan suhu naik ditunjukkan pada Gambar 4.29. nilai laju aliran massa konstan, dapat dilihat pada Gambar 4.28. Maka terjadi penurunan *fouling* di LPH 1. Nilai penurunan *fouling* dapat dilihat pada Gambar 4.30.

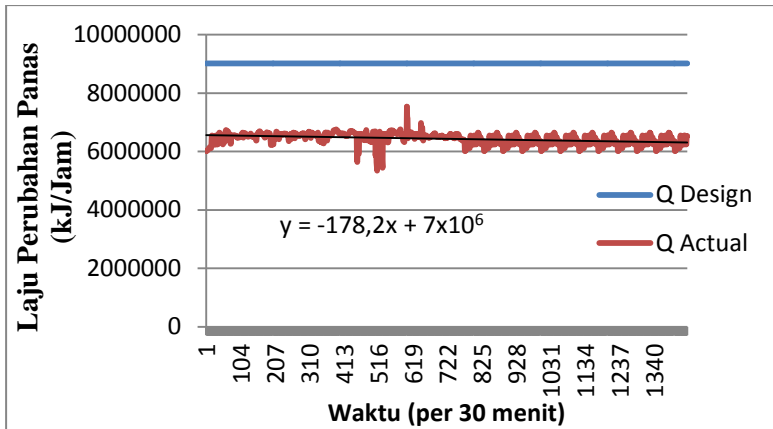
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.28. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk LPH 1

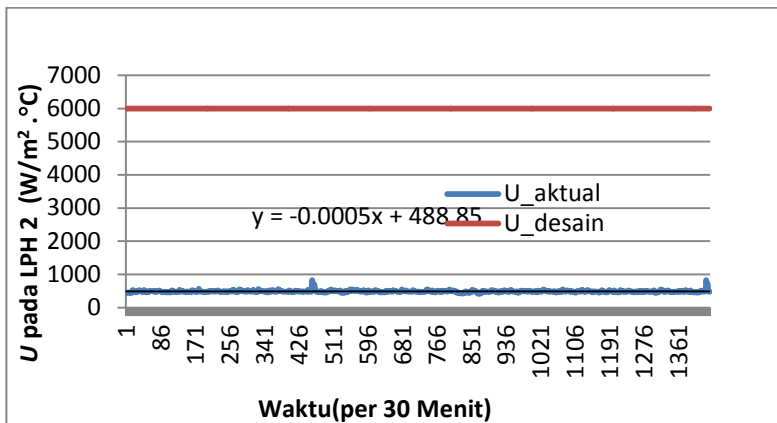


Gambar 4.29. Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk LPH 1



Gambar 4.30. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk LPH 1

Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada LPH 2 ditunjukkan oleh gambar berikut.

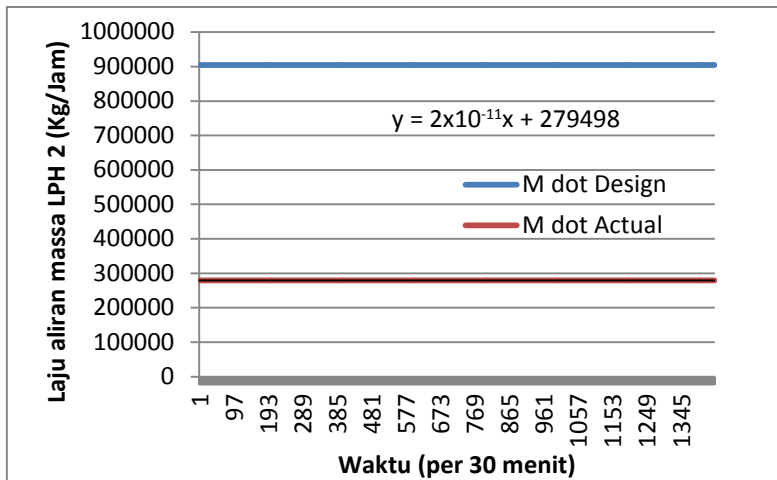


Gambar 4.31. Penurunan harga U terhadap waktu untuk LPH 2

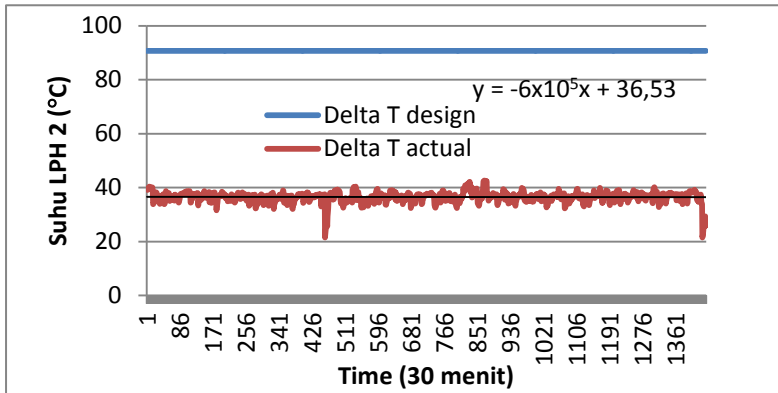
Pada Gambar 4.31, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan $-0.001(\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ per jam dengan persamaan $y = -0.0005x + 488.85$. Nilai y mengimplementasikan penurunan

performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.31, bahwa pada data ke-500 terjadi penurunan. Hal ini disebabkan oleh masukan laju aliran massa dari LPH 2 menurun dengan perubahan suhu yang semakin menurun. Untuk nilai laju aliran massa dapat dilihat pada Gambar 4.32. Dapat dilihat di Gambar 4.33 bahwa nilai ΔT menurun pada data ke- 500. Maka kalor yang tersedia pada komponen LPH 2 akan menurun. Untuk nilai kalor dapat dilihat pada Gambar 4.34

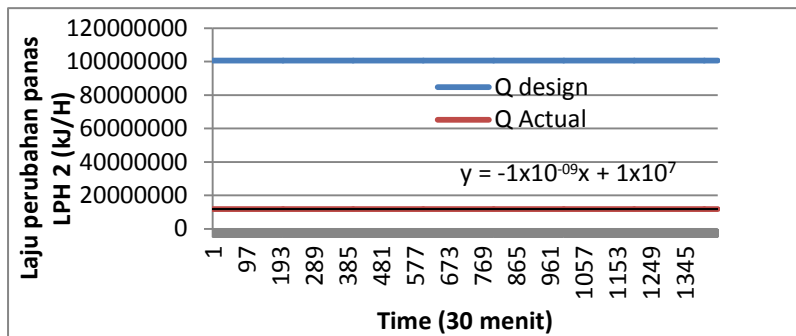
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.32. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk LPH 2

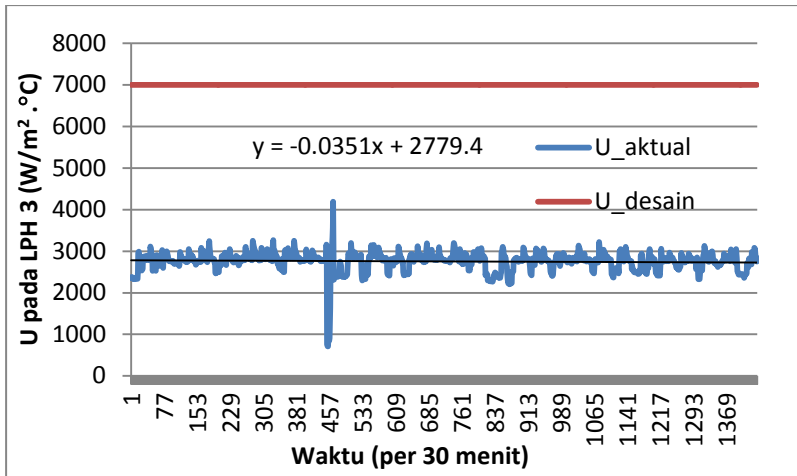


Gambar 4.33.Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk LPH 2



Gambar 4.34. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk LPH 2

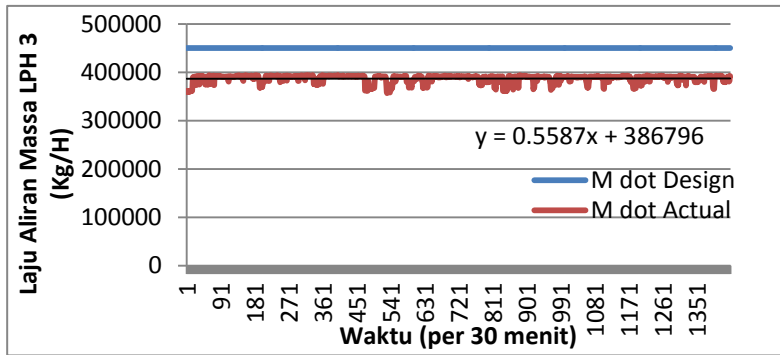
Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada LPH 3 ditunjukan oleh Gambar berikut.



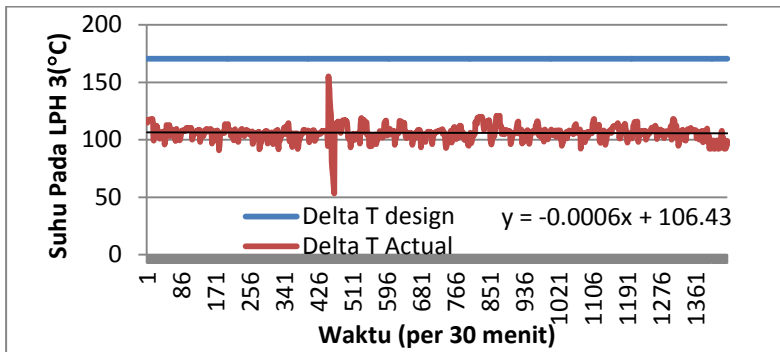
Gambar 4.35. Penurunan harga U terhadap waktu untuk LPH 3

Pada Gambar 4.35, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan -0.0702 ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) per jam dengan persamaan $y = -0.0351x + 2779.4$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.35, bahwa pada data ke-457 terjadi penurunan drastis. Hal ini disebabkan oleh masukan laju aliran massa dari LPH 3 menurun dengan perubahan suhu yang semakin menurun. Untuk nilai laju aliran massa dapat dilihat pada Gambar 4.36. Dapat dilihat di Gambar 4.37 bahwa nilai ΔT menurun pada data ke-457. Maka kalor yang tersedia pada komponen LPH 3 akan menurun. Untuk mengetahui kalor yang tersedia pada LPH 3 dapat dilihat pada Gambar 4.38.

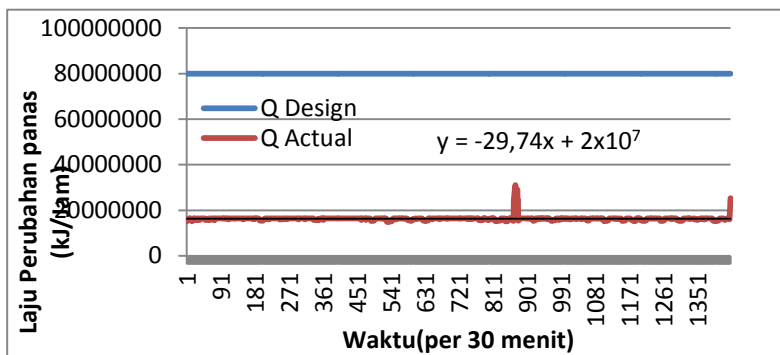
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.36. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk LPH 3



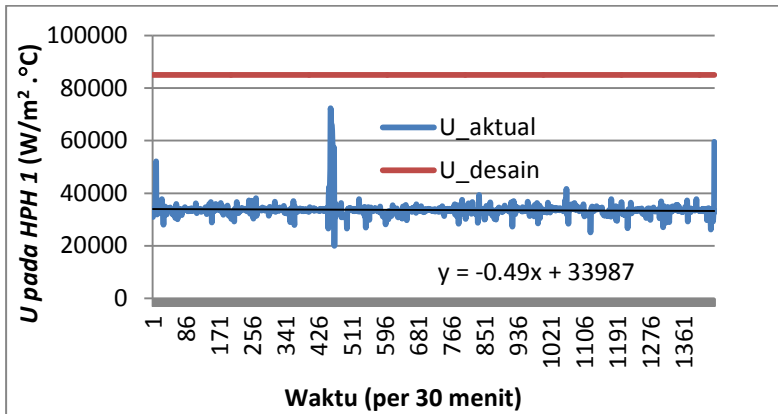
Gambar 4.37. Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk LPH 3



Gambar 4.38. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk LPH 3

4.5 High Pressure Heater

Di PT.PJB UP Paiton memiliki 6 *high pressure heater* secara keseluruhan *plant*. Masing-masing unit *plant* terpasang 3 *high pressure heater*. *High pressure heater* ini berfungsi untuk menaikkan suhu keluaran dari *deaerator*. Untuk mencari performansi di kedua *reheat* itu sama. Performansi pada *reheat* menurun terhadap bertambahnya waktu. Untuk melihat *trend U* sebaiknya data dalam rentang waktu yang panjang diperlukan, sehingga *trend* penurunan nilai *U* lebih mudah diamati. Dengan bantuan *trend line*, penurunan harga *U* yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata, bisa dimodelkan menggunakan persamaan pada *trend line*. Agar lebih jelas penurunan terhadap bertambahnya waktu maka harga U_{Aktual} dibandingkan dengan harga U_{desain} . Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada HPH 1 ditunjukkan oleh gambar berikut.

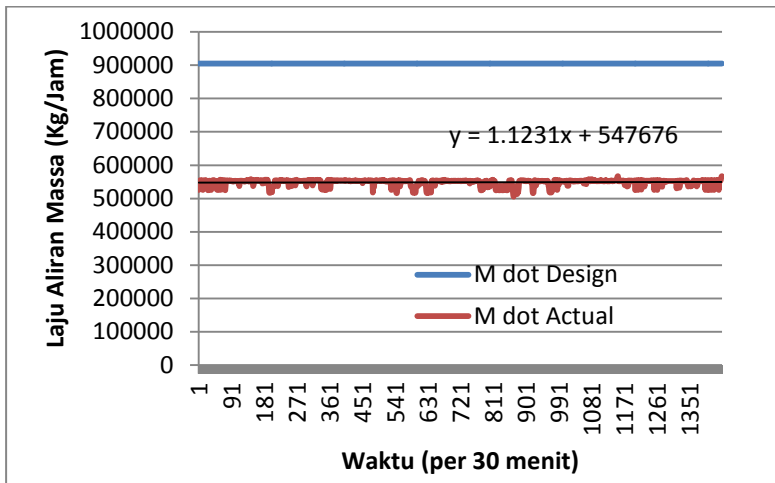


Gambar 4.39. Penurunan harga *U* terhadap waktu untuk HPH 1

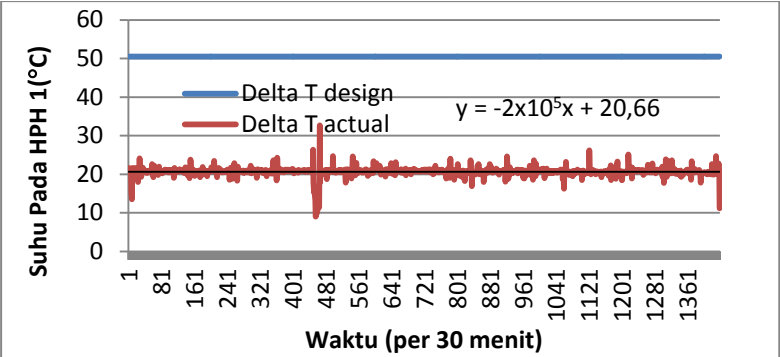
Pada Gambar 4.39, dimana *trend line* *U* menurun dengan laju penurunan $-0.98 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$ per jam dengan persamaan $y = -0.49x + 33987$. Nilai *y* mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai *x* mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan *U* maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.39, bahwa

pada data ke-440 terjadi kenaikan. Nilai perubahan suhu naik di tunjukkan pada Gambar 4.41. Nilai laju aliran massa konstan, dapat dilihat pada Gambar 4.40. Maka terjadi penurunan *fouling* di HPH 1. Penurunan nilai *fouling* dapat dilihat pada Gambar 4.42.

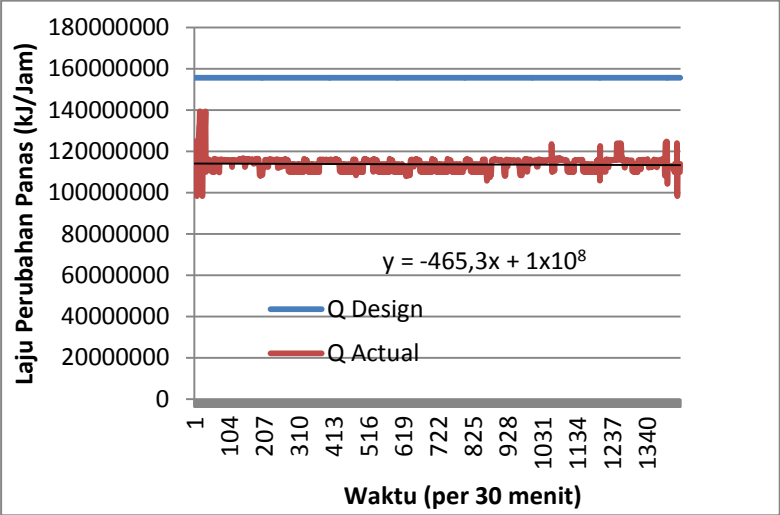
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.40. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk HPH 1

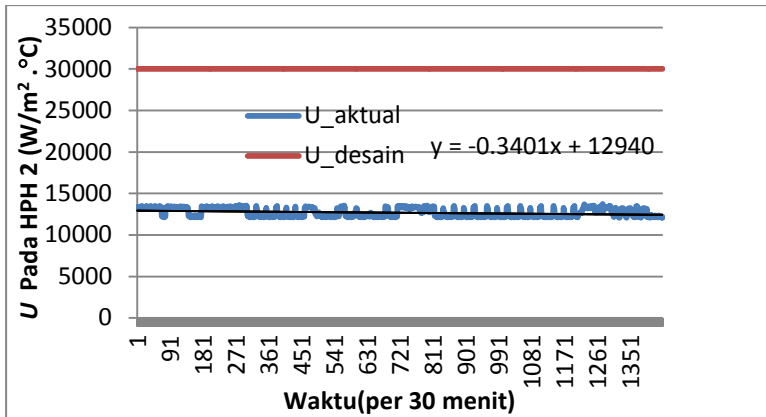


Gambar 4.41. Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk HPH 1



Gambar 4.42. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk HPH 1

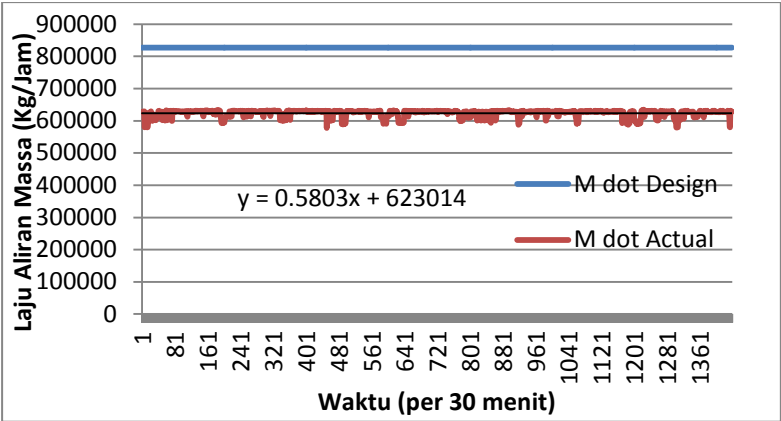
Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada HPH 2 ditunjukkan oleh gambar berikut.



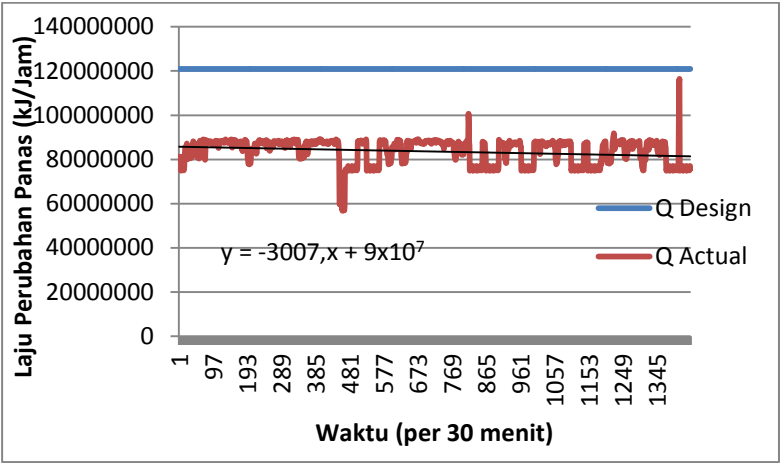
Gambar 4.43. Penurunan harga U terhadap waktu untuk HPH 2

Pada Gambar 4.43, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan $-0.6802(\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ per jam dengan persamaan $y = -0.3401x + 12940$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu. Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.43, bahwa pada data ke-1440 terjadi penurunan drastis. Hal ini disebabkan oleh masukan laju aliran massa dari HPH 2 menurun dengan perubahan suhu yang semakin menurun. Untuk nilai laju aliran massa dapat dilihat pada Gambar 4.44. Dapat dilihat di Gambar 4.45 bahwa nilai ΔT menurun pada data ke- 1440. Maka kalor yang tersedia pada komponen HPH 2 akan menurun. Nilai ketersediaan kalor dapat dilihat pada Gambar 4.46.

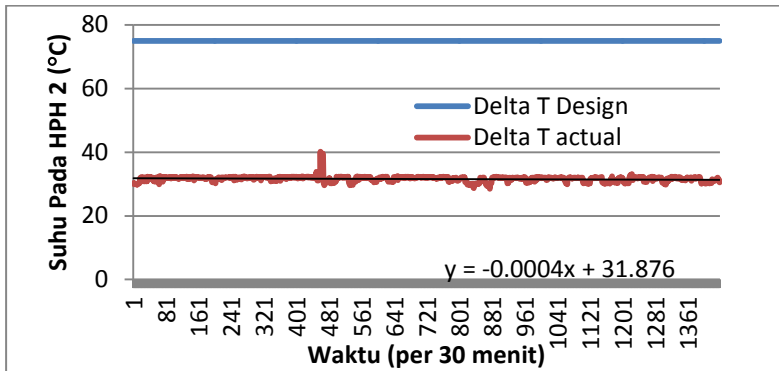
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.44. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk HPH 2

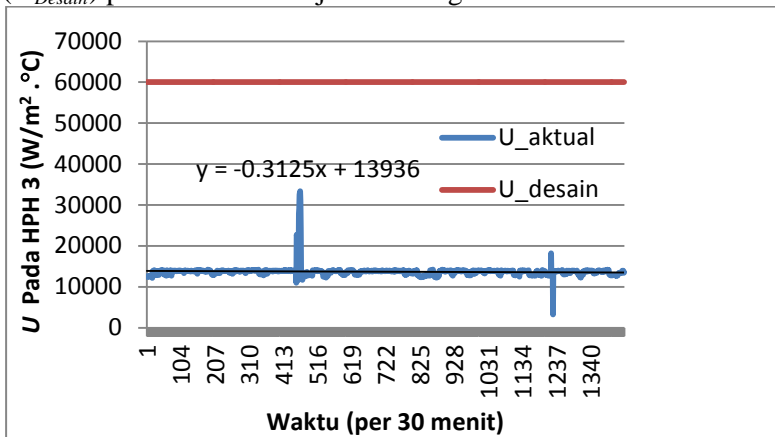


Gambar 4.45. Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk HPH 2



Gambar 4.46. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk HPH 2

Perbandingan *overall heat transfer coefficient* dari aktual (U_{Aktual}) dengan *overall heat transfer coefficient* dari desain (U_{Desain}) pada HPH 3 ditunjukan oleh gambar berikut.

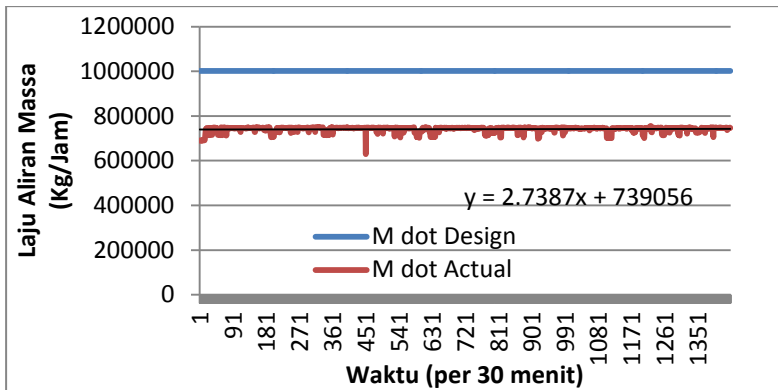


Gambar 4.47. Penurunan harga U terhadap waktu untuk HPH 3

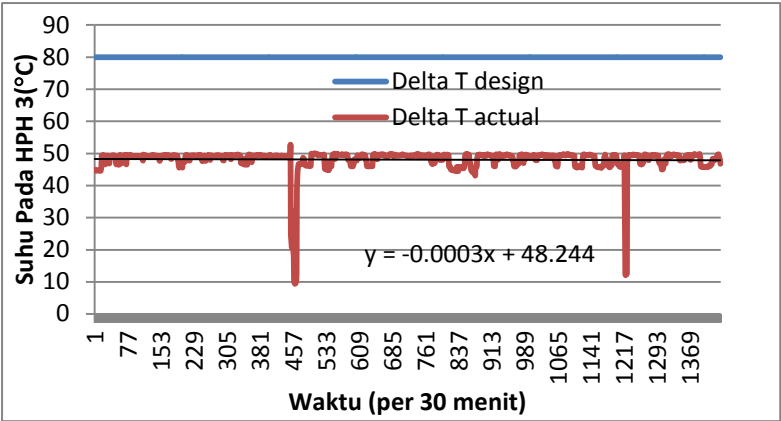
Pada Gambar 4.47, dimana *trend line* U menurun dengan laju penurunan -0.625 (W/m².°C) per jam dengan persamaan $y = -0.3125x + 13936$. Nilai y mengimplementasikan penurunan performansi, sedangkan nilai x mengimplementasikan waktu.

Semakin besar laju penurunan U maka performansi peralatan semakin cepat menurun. Dapat dilihat pada Gambar 4.47, bahwa pada data ke-1237 terjadi penurunan. Hal ini disebabkan oleh masukan laju aliran massa dari HPH 3 menurun dengan perubahan suhu yang semakin menurun. Untuk nilai laju aliran massa dapat dilihat pada Gambar 4.48. Dapat dilihat di Gambar 4.49 bahwa nilai ΔT menurun pada data ke- 1237. Maka kalor yang tersedia pada komponen HPH 3 akan menurun. Nilai ketersediaan kalor dapat dilihat pada Gambar 4.50

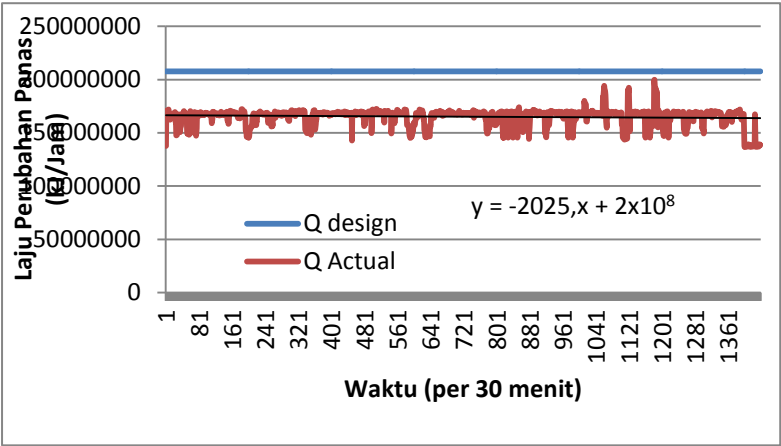
Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor yaitu laju aliran massa dan juga suhu. Pada hasil yang didapatkan, nilai laju aliran massa mengalami kenaikan. Sedangkan pada Gambar suhu terjadi penurunan. Maka dihasilkan nilai U yang semakin turun terhadap waktu.



Gambar 4.48. Penurunan harga m dot terhadap waktu untuk HPH 3



Gambar 4.49. Penurunan harga ΔT terhadap waktu untuk HPH 3



Gambar 4.50. Penurunan harga Q terhadap waktu untuk HPH 3

4.6 Analisis keseluruhan sistem

Penurunan performansi pada keseluruhan sistem pembangkit listrik tenaga uap PJB Paiton, secara berurutan dari besar ke kecil dapat dilihat pada Tabel 4.1. Perbedaan penurunan ini disebabkan banyak faktor. Pada tabel didapatkan persamaan penurunan U.

Dengan didapatkannya persamaan tersebut, maka bisa untuk mencari nilai persentase penurunan U . Nilai persentase penurunan U didapatkan dengan cara membagi U_{Desain} setiap peralatan dengan nilai konstanta setiap persamaan untuk setiap peralatan. Karena keterbatasan data, maka hal ini belum bisa ditentukan saat ini. Semakin besar penurunan performansi akan menimbulkan konsekuensi lebih sering dibersihkan.

Tabel 4.1. Harga penurunan U untuk setiap peralatan dibandingkan dengan U_{desain} .

Komponen	Persamaan U	Penurunan U terhadap U_{desain} (%)
LPH 2	$y = -0.0005x + 488.85$	-0.00002%
Reheat B	$y = -0.0215x + 3353.8$	-0.00054%
Reheat A	$y = -0.0295x + 3353.8$	-0.00066%
Economizer	$y = -1.3315x + 258228$	-0.00076%
Turbin	$y = -0.0004x + 67.735$	-0.00084%
LPH 3	$y = -0.0351x + 2779.4$	-0.00100%
HPH 3	$y = -0.3125x + 13936$	-0.00104%
HPH 1	$y = -0.49x + 33987$	-0.00115%
HPH 2	$y = -0.3401x + 12940$	-0.00227%
LPH 1	$y = -0.0484x + 1975.6$	-0.00242%
Superheat A	$y = -5.058x + 64744$	-0.00674%
Condenser	$y = -0.1275x + 638.4$	-0.01020%
Superheat B	$y = -6.2134x + 28193$	-0.01130%

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa persentase penurunan performansi yang paling kecil terjadi di *superheater* A dengan nilai -0.01130% dan penurunan performansi yang paling besar terjadi di *low pressure heater* 2 dengan nilai -0.00002%. Dari sini dapat dilihat bahwa untuk komponen *reheat* B perlu sering adanya pembersihan. Penurunan performansi dapat dilihat dari

perbandingan nilai *overall heat transfer coefficient* desain dibandingkan dengan nilai *overall heat transfer coefficient* aktual. Nilai *aktual* yang didapat tergantung manajemen untuk mengetahui dan mengatur nilai laju aliran massa-nya. Setelah mengetahui, dapat dikatakan bahwa komponen tersebut perlu dilakukan pembersihkan atau tidak.

“Halaman ini memang dikosongkan”

Flowrate (kJ/Jam)		Delta T (°C)		Delta Q		U	
Desain	Aktual	Desain	Aktual	Desain	Aktual	Desain	Aktual
193529.6533	133529.6533	30.8	17.287	57953098	27953097.63	2500	641.6670943
193529.6533	133529.6533	30.8	17.274	57953098	27953097.63	2500	641.4370943
193529.6533	133529.6533	30.8	17.261	57953098	27953097.63	2500	641.2070943
193529.6533	133895.488	30.8	17.248	57953098	28029681.46	2500	640.9770943
193529.6533	134261.3227	30.8	17.235	57953098	28106265.29	2500	640.7470943
193529.6533	134992.992	30.8	17.222	57953098	28259432.95	2500	640.5170943
193529.6533	135358.8267	30.8	17.209	57953098	28336016.77	2500	640.2870943
193529.6533	135358.8267	30.8	17.196	57953098	28336016.77	2500	640.0570943
193529.6533	135724.6613	30.8	17.183	57953098	28412600.6	2500	639.8270943
193529.6533	136090.496	30.8	17.17	57953098	28489184.43	2500	639.5970943
193529.6533	136456.3307	30.8	17.157	57953098	28565768.26	2500	639.3670943
193529.6533	136456.3307	30.8	17.144	57953098	28565768.26	2500	639.1370943
193529.6533	136090.496	30.8	17.131	57953098	28489184.43	2500	638.9070943
193529.6533	136090.496	30.8	17.118	57953098	28489184.43	2500	638.6770943
193529.6533	135724.6613	30.8	17.105	57953098	28412600.6	2500	638.4470943
193529.6533	138285.504	30.8	17.092	57953098	28948687.41	2500	638.2170943
193529.6533	133529.6533	30.8	17.079	57953098	27953097.63	2500	637.9870943
193529.6533	133529.6533	30.8	17.066	57953098	27953097.63	2500	637.7570943
193529.6533	133529.6533	30.8	17.053	57953098	27953097.63	2500	637.5270943
193529.6533	133895.488	30.8	17.04	57953098	28029681.46	2500	637.2970943
193529.6533	134261.3227	30.8	17.027	57953098	28106265.29	2500	637.0670943
193529.6533	134992.992	30.8	17.014	57953098	28259432.95	2500	636.8370943
193529.6533	135358.8267	30.8	17.001	57953098	28336016.77	2500	636.6070943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.988	57953098	28336016.77	2500	636.3770943
193529.6533	135724.6613	30.8	16.975	57953098	28412600.6	2500	636.1470943
193529.6533	136090.496	30.8	16.962	57953098	28489184.43	2500	635.9170943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.949	57953098	28565768.26	2500	635.6870943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.936	57953098	28565768.26	2500	635.4570943
193529.6533	136090.496	30.8	16.923	57953098	28489184.43	2500	635.2270943
193529.6533	136090.496	30.8	16.91	57953098	28489184.43	2500	634.9970943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.897	57953098	27953097.63	2500	634.7670943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.884	57953098	27953097.63	2500	634.5370943

193529.6533	133529.6533	30.8	16.871	57953098	27953097.63	2500	634.3070943
193529.6533	133895.488	30.8	16.858	57953098	28029681.46	2500	634.0770943
193529.6533	134261.3227	30.8	16.845	57953098	28106265.29	2500	633.8470943
193529.6533	134992.992	30.8	16.832	57953098	28259432.95	2500	633.6170943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.819	57953098	28336016.77	2500	633.3870943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.806	57953098	28336016.77	2500	633.1570943
193529.6533	135724.6613	30.8	16.793	57953098	28412600.6	2500	632.9270943
193529.6533	136090.496	30.8	16.78	57953098	28489184.43	2500	632.6970943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.767	57953098	28565768.26	2500	632.4670943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.754	57953098	28565768.26	2500	632.2370943
193529.6533	136090.496	30.8	16.741	57953098	28489184.43	2500	632.0070943
193529.6533	136090.496	30.8	16.728	57953098	28489184.43	2500	631.7770943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.715	57953098	27953097.63	2500	631.5470943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.702	57953098	27953097.63	2500	631.3170943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.689	57953098	27953097.63	2500	631.0870943
193529.6533	133895.488	30.8	16.676	57953098	28029681.46	2500	630.8570943
193529.6533	134261.3227	30.8	16.663	57953098	28106265.29	2500	630.6270943
193529.6533	134992.992	30.8	16.65	57953098	28259432.95	2500	630.3970943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.637	57953098	28336016.77	2500	630.1670943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.624	57953098	28336016.77	2500	629.9370943
193529.6533	135724.6613	30.8	16.611	57953098	28412600.6	2500	629.7070943
193529.6533	136090.496	30.8	16.598	57953098	28489184.43	2500	629.4770943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.585	57953098	28565768.26	2500	629.2470943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.572	57953098	28565768.26	2500	629.0170943
193529.6533	136090.496	30.8	16.559	57953098	28489184.43	2500	628.7870943
193529.6533	136090.496	30.8	16.546	57953098	28489184.43	2500	628.5570943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.533	57953098	27953097.63	2500	628.3270943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.52	57953098	27953097.63	2500	628.0970943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.507	57953098	27953097.63	2500	627.8670943
193529.6533	133895.488	30.8	16.494	57953098	28029681.46	2500	627.6370943
193529.6533	134261.3227	30.8	16.481	57953098	28106265.29	2500	627.4070943
193529.6533	134992.992	30.8	16.468	57953098	28259432.95	2500	627.1770943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.455	57953098	28336016.77	2500	626.9470943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.442	57953098	28336016.77	2500	626.7170943

193529.6533	135724.6613	30.8	16.429	57953098	28412600.6	2500	626.4870943
193529.6533	136090.496	30.8	16.416	57953098	28489184.43	2500	626.2570943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.403	57953098	28565768.26	2500	626.0270943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.39	57953098	28565768.26	2500	625.7970943
193529.6533	136090.496	30.8	16.377	57953098	28489184.43	2500	625.5670943
193529.6533	136090.496	30.8	16.364	57953098	28489184.43	2500	625.3370943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.351	57953098	27953097.63	2500	625.1070943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.338	57953098	27953097.63	2500	624.8770943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.325	57953098	27953097.63	2500	624.6470943
193529.6533	133895.488	30.8	16.312	57953098	28029681.46	2500	624.4170943
193529.6533	134261.3227	30.8	16.299	57953098	28106265.29	2500	624.1870943
193529.6533	134992.992	30.8	16.286	57953098	28259432.95	2500	623.9570943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.273	57953098	28336016.77	2500	623.7270943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.26	57953098	28336016.77	2500	623.4970943
193529.6533	135724.6613	30.8	16.247	57953098	28412600.6	2500	623.2670943
193529.6533	136090.496	30.8	16.234	57953098	28489184.43	2500	623.0370943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.221	57953098	28565768.26	2500	622.8070943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.208	57953098	28565768.26	2500	622.5770943
193529.6533	136090.496	30.8	16.195	57953098	28489184.43	2500	622.3470943
193529.6533	136090.496	30.8	16.182	57953098	28489184.43	2500	622.1170943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.169	57953098	27953097.63	2500	621.8870943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.156	57953098	27953097.63	2500	621.6570943
193529.6533	133529.6533	30.8	16.143	57953098	27953097.63	2500	621.4270943
193529.6533	133895.488	30.8	16.13	57953098	28029681.46	2500	621.1970943
193529.6533	134261.3227	30.8	16.117	57953098	28106265.29	2500	620.9670943
193529.6533	134992.992	30.8	16.104	57953098	28259432.95	2500	620.7370943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.091	57953098	28336016.77	2500	620.5070943
193529.6533	135358.8267	30.8	16.078	57953098	28336016.77	2500	620.2770943
193529.6533	135724.6613	30.8	16.065	57953098	28412600.6	2500	620.0470943
193529.6533	136090.496	30.8	16.052	57953098	28489184.43	2500	619.8170943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.039	57953098	28565768.26	2500	619.5870943
193529.6533	136456.3307	30.8	16.026	57953098	28565768.26	2500	619.3570943
193529.6533	136090.496	30.8	16.013	57953098	28489184.43	2500	619.1270943
193529.6533	136090.496	30.8	16	57953098	28489184.43	2500	618.8970943

193529.6533	133529.6533	30.8	15.987	57953098	27953097.63	2500	618.6670943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.974	57953098	27953097.63	2500	618.4370943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.961	57953098	27953097.63	2500	618.2070943
193529.6533	133895.488	30.8	15.948	57953098	28029681.46	2500	617.9770943
193529.6533	134261.3227	30.8	15.935	57953098	28106265.29	2500	617.7470943
193529.6533	134992.992	30.8	15.922	57953098	28259432.95	2500	617.5170943
193529.6533	135358.8267	30.8	15.909	57953098	28336016.77	2500	617.2870943
193529.6533	135358.8267	30.8	15.896	57953098	28336016.77	2500	617.0570943
193529.6533	135724.6613	30.8	15.883	57953098	28412600.6	2500	616.8270943
193529.6533	136090.496	30.8	15.87	57953098	28489184.43	2500	616.5970943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.857	57953098	28565768.26	2500	616.3670943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.844	57953098	28565768.26	2500	616.1370943
193529.6533	136090.496	30.8	15.831	57953098	28489184.43	2500	615.9070943
193529.6533	136090.496	30.8	15.818	57953098	28489184.43	2500	615.6770943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.805	57953098	27953097.63	2500	615.4470943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.792	57953098	27953097.63	2500	615.2170943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.779	57953098	27953097.63	2500	614.9870943
193529.6533	133895.488	30.8	15.766	57953098	28029681.46	2500	614.7570943
193529.6533	134261.3227	30.8	15.753	57953098	28106265.29	2500	614.5270943
193529.6533	134992.992	30.8	15.74	57953098	28259432.95	2500	614.2970943
193529.6533	135358.8267	30.8	15.727	57953098	28336016.77	2500	614.0670943
193529.6533	135358.8267	30.8	15.714	57953098	28336016.77	2500	613.8370943
193529.6533	135724.6613	30.8	15.701	57953098	28412600.6	2500	613.6070943
193529.6533	136090.496	30.8	15.688	57953098	28489184.43	2500	613.3770943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.675	57953098	28565768.26	2500	613.1470943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.662	57953098	28565768.26	2500	612.9170943
193529.6533	136090.496	30.8	15.649	57953098	28489184.43	2500	612.6870943
193529.6533	136090.496	30.8	15.636	57953098	28489184.43	2500	612.4570943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.623	57953098	27953097.63	2500	612.2270943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.61	57953098	27953097.63	2500	611.9970943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.597	57953098	27953097.63	2500	611.7670943
193529.6533	133895.488	30.8	15.584	57953098	28029681.46	2500	611.5370943
193529.6533	134261.3227	30.8	15.571	57953098	28106265.29	2500	611.3070943
193529.6533	134992.992	30.8	15.558	57953098	28259432.95	2500	611.0770943

193529.6533	135358.8267	30.8	15.545	57953098	28336016.77	2500	610.8470943
193529.6533	135358.8267	30.8	15.532	57953098	28336016.77	2500	610.6170943
193529.6533	135724.6613	30.8	15.519	57953098	28412600.6	2500	610.3870943
193529.6533	136090.496	30.8	15.506	57953098	28489184.43	2500	610.1570943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.493	57953098	28565768.26	2500	609.9270943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.48	57953098	28565768.26	2500	609.6970943
193529.6533	136090.496	30.8	15.467	57953098	28489184.43	2500	609.4670943
193529.6533	136090.496	30.8	15.454	57953098	28489184.43	2500	609.2370943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.441	57953098	27953097.63	2500	609.0070943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.428	57953098	27953097.63	2500	608.7770943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.415	57953098	27953097.63	2500	608.5470943
193529.6533	133895.488	30.8	15.402	57953098	28029681.46	2500	608.3170943
193529.6533	134261.3227	30.8	15.389	57953098	28106265.29	2500	608.0870943
193529.6533	134992.992	30.8	15.376	57953098	28259432.95	2500	607.8570943
193529.6533	135358.8267	30.8	15.363	57953098	28336016.77	2500	607.6270943
193529.6533	135358.8267	30.8	15.35	57953098	28336016.77	2500	607.3970943
193529.6533	135724.6613	30.8	15.337	57953098	28412600.6	2500	607.1670943
193529.6533	136090.496	30.8	15.324	57953098	28489184.43	2500	606.9370943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.311	57953098	28565768.26	2500	606.7070943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.298	57953098	28565768.26	2500	606.4770943
193529.6533	136090.496	30.8	15.285	57953098	28489184.43	2500	606.2470943
193529.6533	136090.496	30.8	15.272	57953098	28489184.43	2500	606.0170943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.259	57953098	27953097.63	2500	605.7870943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.246	57953098	27953097.63	2500	605.5570943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.233	57953098	27953097.63	2500	605.3270943
193529.6533	133895.488	30.8	15.22	57953098	28029681.46	2500	605.0970943
193529.6533	134261.3227	30.8	15.207	57953098	28106265.29	2500	604.8670943
193529.6533	134992.992	30.8	15.194	57953098	28259432.95	2500	604.6370943
193529.6533	135358.8267	30.8	15.181	57953098	28336016.77	2500	604.4070943
193529.6533	135358.8267	30.8	15.168	57953098	28336016.77	2500	604.1770943
193529.6533	135724.6613	30.8	15.155	57953098	28412600.6	2500	603.9470943
193529.6533	136090.496	30.8	15.142	57953098	28489184.43	2500	603.7170943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.129	57953098	28565768.26	2500	603.4870943
193529.6533	136456.3307	30.8	15.116	57953098	28565768.26	2500	603.2570943

193529.6533	136090.496	30.8	15.103	57953098	28489184.43	2500	603.0270943
193529.6533	136090.496	30.8	15.09	57953098	28489184.43	2500	602.7970943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.077	57953098	27953097.63	2500	602.5670943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.064	57953098	27953097.63	2500	602.3370943
193529.6533	133529.6533	30.8	15.051	57953098	27953097.63	2500	602.1070943
193529.6533	133895.488	30.8	15.038	57953098	28029681.46	2500	601.8770943
193529.6533	134261.3227	30.8	15.025	57953098	28106265.29	2500	601.6470943
193529.6533	134992.992	30.8	15.012	57953098	28259432.95	2500	601.4170943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.999	57953098	28336016.77	2500	601.1870943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.986	57953098	28336016.77	2500	600.9570943
193529.6533	135724.6613	30.8	14.973	57953098	28412600.6	2500	600.7270943
193529.6533	136090.496	30.8	14.96	57953098	28489184.43	2500	600.4970943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.947	57953098	28565768.26	2500	600.2670943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.934	57953098	28565768.26	2500	600.0370943
193529.6533	136090.496	30.8	14.921	57953098	28489184.43	2500	599.8070943
193529.6533	136090.496	30.8	14.908	57953098	28489184.43	2500	599.5770943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.895	57953098	27953097.63	2500	599.3470943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.882	57953098	27953097.63	2500	599.1170943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.869	57953098	27953097.63	2500	598.8870943
193529.6533	133895.488	30.8	14.856	57953098	28029681.46	2500	598.6570943
193529.6533	134261.3227	30.8	14.843	57953098	28106265.29	2500	598.4270943
193529.6533	134992.992	30.8	14.83	57953098	28259432.95	2500	598.1970943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.817	57953098	28336016.77	2500	597.9670943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.804	57953098	28336016.77	2500	597.7370943
193529.6533	135724.6613	30.8	14.791	57953098	28412600.6	2500	597.5070943
193529.6533	136090.496	30.8	14.778	57953098	28489184.43	2500	597.2770943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.765	57953098	28565768.26	2500	597.0470943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.752	57953098	28565768.26	2500	596.8170943
193529.6533	136090.496	30.8	14.739	57953098	28489184.43	2500	596.5870943
193529.6533	136090.496	30.8	14.726	57953098	28489184.43	2500	596.3570943
193529.6533	135724.6613	30.8	14.713	57953098	28412600.6	2500	596.1270943
193529.6533	138285.504	30.8	14.7	57953098	28948687.41	2500	595.8970943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.687	57953098	27953097.63	2500	595.6670943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.674	57953098	27953097.63	2500	595.4370943

193529.6533	133529.6533	30.8	14.661	57953098	27953097.63	2500	595.2070943
193529.6533	133895.488	30.8	14.648	57953098	28029681.46	2500	594.9770943
193529.6533	134261.3227	30.8	14.635	57953098	28106265.29	2500	594.7470943
193529.6533	134992.992	30.8	14.622	57953098	28259432.95	2500	594.5170943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.609	57953098	28336016.77	2500	594.2870943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.596	57953098	28336016.77	2500	594.0570943
193529.6533	135724.6613	30.8	14.583	57953098	28412600.6	2500	593.8270943
193529.6533	136090.496	30.8	14.57	57953098	28489184.43	2500	593.5970943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.557	57953098	28565768.26	2500	593.3670943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.544	57953098	28565768.26	2500	593.1370943
193529.6533	136090.496	30.8	14.531	57953098	28489184.43	2500	592.9070943
193529.6533	136090.496	30.8	14.518	57953098	28489184.43	2500	592.6770943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.505	57953098	27953097.63	2500	592.4470943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.492	57953098	27953097.63	2500	592.2170943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.479	57953098	27953097.63	2500	591.9870943
193529.6533	133895.488	30.8	14.466	57953098	28029681.46	2500	591.7570943
193529.6533	134261.3227	30.8	14.453	57953098	28106265.29	2500	591.5270943
193529.6533	134992.992	30.8	14.44	57953098	28259432.95	2500	591.2970943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.427	57953098	28336016.77	2500	591.0670943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.414	57953098	28336016.77	2500	590.8370943
193529.6533	135724.6613	30.8	14.401	57953098	28412600.6	2500	590.6070943
193529.6533	136090.496	30.8	14.388	57953098	28489184.43	2500	590.3770943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.375	57953098	28565768.26	2500	590.1470943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.362	57953098	28565768.26	2500	589.9170943
193529.6533	136090.496	30.8	14.349	57953098	28489184.43	2500	589.6870943
193529.6533	136090.496	30.8	14.336	57953098	28489184.43	2500	589.4570943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.323	57953098	27953097.63	2500	589.2270943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.31	57953098	27953097.63	2500	588.9970943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.297	57953098	27953097.63	2500	588.7670943
193529.6533	133895.488	30.8	14.284	57953098	28029681.46	2500	588.5370943
193529.6533	134261.3227	30.8	14.271	57953098	28106265.29	2500	588.3070943
193529.6533	134992.992	30.8	14.258	57953098	28259432.95	2500	588.0770943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.245	57953098	28336016.77	2500	587.8470943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.232	57953098	28336016.77	2500	587.6170943

193529.6533	135724.6613	30.8	14.219	57953098	28412600.6	2500	587.3870943
193529.6533	136090.496	30.8	14.206	57953098	28489184.43	2500	587.1570943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.193	57953098	28565768.26	2500	586.9270943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.18	57953098	28565768.26	2500	586.6970943
193529.6533	136090.496	30.8	14.167	57953098	28489184.43	2500	586.4670943
193529.6533	136090.496	30.8	14.154	57953098	28489184.43	2500	586.2370943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.141	57953098	27953097.63	2500	586.0070943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.128	57953098	27953097.63	2500	585.7770943
193529.6533	133529.6533	30.8	14.115	57953098	27953097.63	2500	585.5470943
193529.6533	133895.488	30.8	14.102	57953098	28029681.46	2500	585.3170943
193529.6533	134261.3227	30.8	14.089	57953098	28106265.29	2500	585.0870943
193529.6533	134992.992	30.8	14.076	57953098	28259432.95	2500	584.8570943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.063	57953098	28336016.77	2500	584.6270943
193529.6533	135358.8267	30.8	14.05	57953098	28336016.77	2500	584.3970943
193529.6533	135724.6613	30.8	14.037	57953098	28412600.6	2500	584.1670943
193529.6533	136090.496	30.8	14.024	57953098	28489184.43	2500	583.9370943
193529.6533	136456.3307	30.8	14.011	57953098	28565768.26	2500	583.7070943
193529.6533	136456.3307	30.8	13.998	57953098	28565768.26	2500	583.4770943
193529.6533	136090.496	30.8	13.985	57953098	28489184.43	2500	583.2470943
193529.6533	136090.496	30.8	13.972	57953098	28489184.43	2500	583.0170943
193529.6533	133529.6533	30.8	13.959	57953098	27953097.63	2500	582.7870943
193529.6533	133529.6533	30.8	13.946	57953098	27953097.63	2500	582.5570943
193529.6533	133529.6533	30.8	13.933	57953098	27953097.63	2500	582.3270943
193529.6533	133895.488	30.8	13.92	57953098	28029681.46	2500	582.0970943
193529.6533	134261.3227	30.8	13.907	57953098	28106265.29	2500	581.8670943
193529.6533	134992.992	30.8	13.894	57953098	28259432.95	2500	581.6370943
193529.6533	135358.8267	30.8	13.881	57953098	28336016.77	2500	581.4070943
193529.6533	135358.8267	30.8	13.868	57953098	28336016.77	2500	581.1770943
193529.6533	135724.6613	30.8	13.855	57953098	28412600.6	2500	580.9470943
193529.6533	136090.496	30.8	13.842	57953098	28489184.43	2500	580.7170943
193529.6533	136456.3307	30.8	13.829	57953098	28565768.26	2500	580.4870943
193529.6533	136456.3307	30.8	13.816	57953098	28565768.26	2500	609.4670943

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

- Terjadi penurunan performansi di setiap peralatan. Hasil penurunan performansi di setiap peralatan adalah sebagai berikut :
 - a. Pada economizer sebesar $-2.66 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ per jam.
 - b. Pada Reheat A sebesar $-0.059 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
 - c. Pada Reheat B sebesar $-0.043 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
 - d. Pada Superheat A sebesar $-10.116 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ per jam.
 - e. Pada Superheat B sebesar $-12.4268 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
 - f. Pada HPH 1 sebesar $-0.98 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
 - g. Pada HPH 2 sebesar $-0.047 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
 - h. Pada HPH 3 sebesar $-0.625 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
 - i. Pada LPH 1 sebesar $-0.5404 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
 - j. Pada LPH 2 sebesar $-0.047 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
 - k. Pada LPH 3 sebesar $-0.0702 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
 - l. Pada condenser sebesar $-0.255 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ perjam.
- Terjadi penurunan *efficiency* di setiap peralatan. Hasil penurunan *efficiency* di setiap peralatan adalah sebagai berikut :
 - a. Pada economizer sebesar -0.0004% per jam.
 - b. Pada Reheat A sebesar -0.0003% perjam.
 - c. Pada Reheat B sebesar -0.0003% perjam.
 - d. Pada Superheat A sebesar -0.0034% per jam.
 - e. Pada Superheat B sebesar -0.0056% perjam.
 - f. Pada HPH 1 sebesar -0.0006% perjam
 - g. Pada HPH 2 sebesar -0.0063% perjam.

- h. Pada HPH 3 sebesar -0.0006% perjam.
- i. Pada LPH 1 sebesar -0.0068% perjam.
- j. Pada LPH 2 sebesar -0.0004% perjam.
- k. Pada LPH 3 sebesar -0.0005% perjam.
- l. Pada condenser sebesar -0.0051% perjam.
- m. Pada Turbin sebesar -0.0004% per jam

5.2. Saran

Saran dari hasil